





Braunschweigische  
Wissenschaftliche Gesellschaft

# Jahrbuch 2011



**J. CRAMER Verlag · Braunschweig**  
**2012**

Das vorliegende Jahrbuch ist bei der Braunschweigischen Wissenschaftlichen  
Gesellschaft und im Buchhandel erhältlich  
Preis: € 20,00

Gedruckt mit Hilfe von Forschungsmitteln  
des Landes Niedersachsen

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Fallersleber-Tor-Wall 16 · D-38100 Braunschweig  
Postfach 3329 · D-38023 Braunschweig  
Telefon: (05 31) 1 44 66 · Fax (05 31) 1 44 60

<http://www.bwg-niedersachsen.de>

Für die Redaktion verantwortlich:  
Claus-Artur Scheier

ISSN 0931-1734  
ISBN 978-3-934656-31-4

Gesamtherstellung:  
J. Cramer Verlag · Am Hasengarten 23 A · D-38126 Braunschweig  
2012  
Printed in Germany

## INHALTSVERZEICHNIS

### ALLGEMEINES UND HISTORISCHES

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG) ..	7
Die Organe der BWG 1943–2011 .....	9
Satzung der BWG .....	11

### HINWEISE AUF VERANSTALTUNGEN DER BWG

<i>7. Bioethik-Symposium „Medizin im Wandel – Individualisierte Medizin auf der Basis humangenetischer Diagnostik“</i> am 02.02. im Haus der Wissenschaft, Braunschweig .....	16
<i>Klaus Gahl: Bericht zum 7. Bioethik-Symposium</i> .....	18
<i>Akademie-Vorlesungen im Schloss „Phänomen Zeit“</i> am 16.02., 20.04., 15.06., 21.09. und 23.11. im Roten Saal, Schloss Braunschweig .....	31
<i>Öffentliche Ringvorlesung „Vom Nutzen des Nutzlosen. Vom Spiel zum Produkt“</i> am 11., 18., 25.01., 01. und 08.02. in der Aula der Georg-August-Universität Göttingen	35
<i>Vortragsreihe im phäno „Element Spiegel“</i> am 13. und 20.01. und „ <i>Spiel und Bewegung</i> “ am 13.10., 03., 10. und 17.11 im phäno, Wolfsburg .....	37
<i>Gemeinsame Akademie-Plenarsitzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen „Die Vermessung der Welt – von der atomaren zur globalen Dimension“</i> am 24.06. in der Aula der Georg-August-Universität Göttingen .....	41
<i>Festkolloquium zur 150. Wiederkehr des Geburtstages von Robert Fricke</i> am 28.10. im neuen Senatssitzungssaal der TU Braunschweig .....	42
<i>Verleihung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen</i> am 06.12.2011 .....	44

### PLENARVERSAMMLUNGEN

22.01.2011	in Braunschweig	
	<i>Werner Lehfeldt: Carl Friedrich Gauß und seine Beschäftigung mit der russischen Sprache</i> .....	47
	<i>Claus-Artur Scheier: Schlusswort zur Neujahrssitzung der BWG</i> .....	55
11.02.2011	in Braunschweig	
	<i>Hans Kloft: Die Überbevölkerung der antiken Großstadt – Das Beispiel Rom</i> (Als Abhandlung erschienen unter dem Titel „Die Überbe-	

	völkerung der antiken Großstädte – Robert Pöhlmanns Buch nach 125 Jahren neu gelesen“ in: Carl-Hans Hauptmeyer/Heinrich-Wilhelm Langrehr (Hg.): Der Ort und die Welt – Horst Callies zum 75. Geburtstag, zu Klampen! 2010, S. 21–43.)	
11.03.2011	in Braunschweig <i>Carla Vogt</i> : Untersuchungen historischer Münzen und Prägestempel – welche neuen Informationen liefern uns naturwissenschaftliche Untersuchungen? .....	57
08.04.2011	in Braunschweig <i>Karl-Heinz Rosenwinkel &amp; Corinna Lorey</i> : Neue Herausforderungen für die Abwasserreinigung und den Gewässerschutz .....	59
17.06.2011	in Braunschweig <i>Ulrich Reimers</i> : Die Orchideen unserer Heimat .....	62
09.07.2011	in Clausthal-Zellerfeld <i>Eberhard Gock</i> : Rohstoffrecycling am Beispiel der Stahlschrott-Entzinkung .....	66
14.10.2011	in Braunschweig <i>Klaus Gahl</i> : Ethische Aspekte gen-diagnostisch gestützter individualisierter Medizin – Eine Problemanzeige – (Ausführliche Fassung in den Abhandlungen LXIV [2011])	
11.11.2011	in Hannover <i>Helwig Schmidt-Glinzer</i> : Die Geschichte vom „Fliegenden Geld“. Von der Festigkeit der Währung in China .....	71
09.12.2011	in Braunschweig Haupt- und Wahlsitzung	

## KLASSENSITZUNGEN

### Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

11.02.2011	in Braunschweig <i>Karl-Joachim Wirths</i> : Probleme und Forscher aus der geometrischen Funktionentheorie .....	87
17.06.2011	in Braunschweig <i>Dieter Schomburg</i> : Experiment und Modellierung in der Systembiologie .....	97
14.10.2011	in Braunschweig <i>Dieter Kaufmann</i> : Arylborane zeigen Wirkung – Von der Katalyse bis zur Lumineszenz .....	101

**Klasse für Ingenieurwissenschaften**

11.02.2011	in Braunschweig <i>Dieter Kind</i> : Smart Grid, cui bono? Anmerkungen zur Zukunft der Stromversorgung .....	103
17.06.2011	in Braunschweig <i>Karl-Heinz Rosenwinkel</i> : Einsatz und Entwicklung der Prozessmodellierung bei der Abwasserreinigung .....	111
09.07.2011	in Braunschweig <i>Ernst Gockenbach</i> : Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung .....	113
11.11.2011	in Hannover Regularien	

**Klasse für Geisteswissenschaften**

11.02.2011	in Braunschweig <i>Walther Ludwig</i> : Die Monodia des Marcus Antonius Muretus zum Tod des Pariser Parlamentspräsidenten Christophe de Thou (1583) – Idealbilder von Humanismus und Gerechtigkeit .....	119
11.03.2011	in Braunschweig <i>Hans Kloft</i> : Metamorphose und Morphologie – Ovids Verwandlungen und Goethes Naturanschauung (Ausführliche Fassung in den Abhandlungen LXIV [2011])	
08.04.2011	in Braunschweig <i>Otto Luchterhandt</i> : Bedeutungen, Verständnis und Struktur von Macht (vlast') im Russland Präsident Putins (Ausführliche Fassung in den Abhandlungen LXIV [2011])	
17.06.2011	in Braunschweig <i>Klaus Conermann</i> : Martin Opitz: Patria – Nation – Europäische Renaissance. Neue biographische Forschungen zur Stellung des 'Gekrönten' in der Literaturgeschichte (Ausführliche Fassung in den Abhandlungen LXIV [2011])	
14.10.2011	in Braunschweig <i>Brage bei der Wieden</i> : Bemerkungen zur „Entdeckung der Nachhaltigkeit“ (Ausführliche Fassung in den Abhandlungen LXIV [2011])	
11.11.2011	in Hannover Regularien	

## FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG am 13. Mai 2011

**Carl Friedrich Gauß-Kolloquium: „Gehirn und Sprache“***Hans Koch*, Berlin

Multimodale funktionelle Bildgebung und neuro-vaskuläre Kopplung ..... 121

*Martin Korte*, Braunschweig

Die Sprache der Neurone: Lernen, Gedächtnis und Vergessen ..... 123

*Eckhart Altenmüller & Reinhard Kopiez*, HannoverEin Beitrag zum evolutionären Ursprung der Musik: Was kann uns die Gänsehaut  
lehren? ..... 133*Thomas Fuchs*, Heidelberg

Die verkörperte Entwicklung der Sprache ..... 153

**Festversammlung im Altstadtrathaus**Der Präsident der BWG, *Joachim Klein*

Ansprache und Bericht ..... 167

*Pinie Zwitterlood*, MünsterLaudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 2011 an *Angela D. Friederici* 177*Angela D. Friederici*, Leipzig

Wie Sprache im Gehirn entsteht ..... 183

Urkunde und Lebenslauf der Preisträgerin ..... 201

Der Vizepräsident der BWG, *Claus-Artur Scheier*

Schlussworte ..... 203

## MITTEILUNGEN

Veröffentlichungen ..... 205

Geschäftliche Mitteilungen ..... 205

## PERSONALIA

Todesfälle ..... 206

Nachruf ..... 207

Zuwahlen ..... 213

Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949–2011 ..... 217

Mitgliederverzeichnis ..... 222



## **ALLGEMEINES UND HISTORISCHES**

### **Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftliche Gesellschaft**

Im Jahre 1943 führten die Initiativen einiger Professoren der Braunschweiger Technischen Hochschule Carolo Wilhelmina zur Errichtung der „Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“. Sie wurde nach Genehmigung der vorgelegten Satzung durch den damals zuständigen Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung am 9. Dezember 1943 in einer feierlichen Sitzung konstituiert. Das zu diesem Anlass von dem ersten Vorsitzenden des Senats der neuen Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmidt, erstattete Referat gibt Auskunft über die Motive dieser Gründung. Maßgebend war der Wunsch nach Überwindung eines allzu engen wissenschaftlichen Spezialistentums und einer einseitigen Orientierung der Forschung auf rasche Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Dies wird in der ersten Satzung der Gesellschaft deutlich. In deren § 1 bestimmt sie: „insbesondere soll sie über die fachlichen Grenzen hinaus die Bearbeitung von Gemeinschaftsaufgaben übernehmen und dazu beitragen, innere Beziehungen zwischen allen Wissens- und Lebensgebieten herzustellen“. Organisatorisch war die Neugründung als selbständige wissenschaftliche Gesellschaft mit eigenen Organen (Kuratorium, Senat, Fachbereiche) angelegt. Der jeweilige Rektor der Technischen Hochschule Braunschweig war jedoch ex officio zum Präsidenten der Gesellschaft bestimmt, was hauptsächlich auf eine administrative Vereinfachung abzielte.

Bis Ende 1944 wurde die Gesellschaft durch Berufung von Mitgliedern aus verschiedenen Fachgebieten personell ausgebaut. Besondere Aktivitäten konnte sie in den letzten Monaten des zweiten Weltkrieges nicht mehr entfalten. Sie bestand auch nach dem Krieg unter einem kommissarischen Präsidenten unverändert fort. Jedoch wurden Maßnahmen eingeleitet, um die Gesellschaft uneingeschränkt zu verselbständigen, wobei die Organisationsform einer Akademie der Wissenschaften angestrebt wurde. Sie war im Kern durch Selbstergänzung und begrenzte Platzzahl der Mitglieder sowie durch Gliederung in Fachbereiche bereits vorhanden.

Vor allem wurde die Gesellschaft nun auch mit ihrem Plenum und ihren Abteilungen – seit 1950 Klassen – wissenschaftlich aktiv. In beiden Bereichen wurden wissenschaftliche Vorträge und Diskussionen durchgeführt. Initiiert von Prof. Dr. phil. Eduard Justi erschien 1949 der erste Band der als Publikationsorgan eingerichteten „Abhandlungen“. Im gleichen Jahre verlieh die Gesellschaft erstmalig die kurz zuvor gestiftete Carl-Friedrich-Gauß-Medaille. 1953 erhielt die Gesellschaft schließlich den Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechts.

Mit dem Errichtungserlass des Niedersächsischen Landesministeriums wurde ihr zugleich eine neue Satzung gegeben, in der freilich Teile der ehemaligen Satzung erhalten geblieben waren. 1971 sowie 2008 erhielt die Gesellschaft eine in einigen Bereichen jeweils veränderte und 2010 schließlich ihre heute gültige Satzung, die sie nach den Regeln einer Akademie der Wissenschaften mit deutlich technischem Schwerpunkt ausfüllt. In diesem Rahmen finden laufend wissenschaftliche Plenar- und Klassensitzungen statt. Mit vielen Gästen aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlichem Leben ist die „Festliche Jahresversammlung“ – seit 1949 zugleich Forum für die Verleihung der Carl Friedrich Gauß-Medaille als hoher wissenschaftlicher Auszeichnung – Höhepunkt dieses regulären Programms

Zur Bearbeitung langfristiger Forschungsthemen kann die BWG Kommissionen bilden, wobei auch die Interdisziplinarität des Diskussionsprozesses eine wichtige Rolle spielt. Beispiele dafür sind die Kommission für „Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte“ (bis 1992), die Kommission für „Recht und Technik“ und die Kommission „Die deutschen Münzfunde des Mittelalters und der Neuzeit“.

In der Öffentlichkeit ist die BWG durch Veranstaltung von Symposien und Vorträgen, oft auch gemeinsam mit Partnerinstitutionen, präsent. In diesen Symposien werden die Ergebnisse der Kommissionsarbeit oder andere aktuelle Themen – wie z.B. der Bioethik – zur Diskussion gestellt und in gesonderten Publikationen dokumentiert.

Als regelmäßige Publikationsorgane stehen der Wissenschaft und Öffentlichkeit seit 1949 die „Abhandlungen der BWG“ und seit 1983 die „Jahrbücher“ zur Verfügung. Im Band 50 der „Abhandlungen“ sind die Inhaltsverzeichnisse der Bände 1–50 noch einmal zusammengefasst einsehbar. Die Bibliothek der TU Braunschweig verwaltet offiziell auch die Bibliothek der BWG.

Die BWG ist Gründungsmitglied der ForschungRegion Braunschweig e.V. und leistet wichtige Beiträge zur Initiierung, inhaltlichen Gestaltung und zur Organisation regionaler Projekte wie z.B. „Braunschweig – Stadt der Wissenschaft 2007“ und „Haus der Wissenschaft Braunschweig“.

Die BWG erfüllt mit Stolz, dass sie als Stifter – gemeinsam mit dem Braunschweigischen Landesmuseum und der Technischen Universität Braunschweig – zur Aufstellung der Marmorbüste ihres Namenspatrons Carl Friedrich Gauß in der Walhalla, der Ruhmeshalle der deutschen Kultur bei Regensburg, beitragen konnte (12. September 2007).

Die BWG pflegt den wissenschaftlichen und kollegialen Kontakt zu den anderen Wissenschaftlichen Akademien in Deutschland und führt mit der benachbarten Akademie der Wissenschaften zu Göttingen auch gemeinsame Projekte durch.

## Die Organe der BWG 1943 –2011

Konstituierende Sitzung: 30.11.1943

Eröffnungssitzung: 09.12.1943 [siehe Abhandlungen der BWG **21** (1969), 8]

Erste Sitzung: 1944 [siehe Abhandlungen der BWG **1** (1949), 169]

Zweite Sitzung: 1953 [siehe Abhandlungen der BWG **5** (1953), 212]

Dritte Sitzung: 1971 [siehe Abhandlungen der BWG **22** (1970), 291]

Vierte Sitzung: 1993 [siehe Jahrbuch der BWG (2007), 10]

Fünfte Sitzung: 2008 [siehe Jahrbuch der BWG (2009), 10]

Sechste Sitzung: 2010 [hier abgedruckt S. 11 ff.]

### Präsidenten

1943–45: Fritz Gerstenberg; 1946–48: Gustav Gassner; 1949–50: Hans Herloff Inhoffen; 1951–53: Eduard Justi; 1954–56: Leo Pungs; 1957–59: Max Kohler; 1960–62: Hans Kroepelin; 1963–66: Paul Koeßler; 1967–70: Hermann Blenk; 1971–77: Karl Gerke; 1978–80: Herbert Wilhelm; 1981–86: Karl Heinrich Olsen; 1987–92: Gerhard Oberbeck; 1993–95: Werner Leonhard; 1996–1999: Norbert Kamp; seit 2000: Joachim Klein

### Generalsekretäre

1943–45: Ernst August Roloff; 1946–48: Wilhelm Gehlhoff; 1949–50: Eduard Justi; 1951–53: Hermann Schlichting; 1954–1959: Hans Herloff Inhoffen; 1960–61: Hellmut Bodemüller; 1962–64: Hans Joachim Bogen; 1965–69: Hermann Schaefer; 1970–71: Karl Gerke; 1972–73: Arnold Beuermann; 1974–80: Karl Heinrich Olsen; 1981–82: Ulrich Wannagat; 1983–85: Hans Joachim Kanold; 1986–88: Egon Richter; 1989–91: Harmen Thies; 1992–94: Ulrich Wannagat; 1995–97: Helmut Braß; 1998–2000: Elmar Steck; 2001–2010: Claus-Artur Scheier

### Vizepräsidenten

seit 2011: Claus-Artur Scheier und Klaus P.G. Gahl

## Vorsitzende der Klassen

### BIS 1954 SEKRETÄRE DER ABTEILUNGEN

#### *Mathematik und Naturwissenschaften*

1943–47: G. Cario; 1948–50: P. Dorn; 1951–53: H.H. Inhoffen; 1954–57: P. Dorn; 1958–60: H. Kroepelin; 1961: H. Poser; 1962–64: H. Hartmann; 1965–66: H. Schumann; 1967–72: M. Grützmaker; 1973–76: U. Wannagat; 1977–80: H.R. Müller; 1981–84: E. Richter; 1985–89: O. Rosenbach; 1990–91: St. Schottlaender; 1992–94: H.-J. Kowalsky; 1995–97: H. Tietz; 1998–1999: K. Schügerl; 2000: G. Müller; 2001–2003: J. Heidberg; 2004–2006: E. Winterfeldt, seit 2007: Th. Hartmann

#### *Ingenieurwissenschaften*

1943–48: E. Marx; 1949–53: L. Pungs; 1954–56: O. Flachsbar; 1957–60: W. Hofmann; 1961–64: H. Hausen; 1965–70: G. Wassermann; 1971–77: H.W. Hennicke; 1978–79: Th. Rummel; 1980–83: M. Mitschke; 1984–93: R. Jeschar; 1994–96: H.-G. Unger; 1997–2000: E. Stein; 2001–2005: M. Lindmayer; 2006–2008: P. Wriggers 2009–2011 U. Peil; seit 2011: J. Müller.

#### *Bauwissenschaften*

1943–48: ?; 1949–53: Th. Kristen; 1954–62: F. Zimmermann; 1963–67: A. Pflüger; 1968–69: J. Göderitz; 1970–73: W. Wortmann; 1974: K.H. Olsen; 1975–78: H. Duddeck; 1979–83: W. Höpcke; 1984–93: J. Herrenberger; seit 1994: vereinigt mit der Klasse für Ingenieurwissenschaften

#### *Geisteswissenschaften*

1943–48: W. Jesse; 1949–53: W. Gehlhoff; 1954–57 (Obmann): W. Jesse; 1958–61 (Obmann): H. Glockner; 1962–68 (Obmann): H. Heffter; 1969–78: A. Beuermann; 1979–87: M. Gosebruch; 1988–89: H. Boeder; 1990–91: G. Maurach; 1992–1998: C.-A. Scheier; 1999: G. Maurach; 2000: C.-A. Scheier; 2001–2010: H.-J. Behr; seit 2011: K. Alpers

# **Satzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft**

**(In Kraft seit 21.05.2010)**

## **§ 1**

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat durch eigene Tätigkeit und im Zusammenwirken mit anderen Gesellschaften der Wissenschaft zu dienen.

## **§ 2**

Die Gesellschaft ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Ihr Sitz ist Braunschweig. Sie führt ein Dienstsiegel.

## **§ 3**

Die Gesellschaft hat drei Klassen:

die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften,  
die Klasse für Ingenieurwissenschaften,  
die Klasse für Geisteswissenschaften.

## **§ 4**

(1) Die Gesellschaft besteht aus ordentlichen und korrespondierenden Mitgliedern.

(2) Ordentliche Mitglieder können verdienstvolle Gelehrte werden, die ihren Wohnsitz in Niedersachsen haben. Sie sind zur regelmäßigen Teilnahme an den Sitzungen des Plenums und ihrer Klassen sowie zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeit verpflichtet und gehalten, zu den Publikationen der Gesellschaft beizutragen. Ordentliche Mitglieder, die das 70. Lebensjahr vollendet haben, werden von den Pflichten entbunden, behalten jedoch ihre Rechte bei. Die Höchstzahl der ordentlichen Mitglieder, welche das 70. Lebensjahr noch nicht vollendet haben, beträgt:

30 für die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften,  
40 für die Klasse für Ingenieurwissenschaften,  
30 für die Klasse für Geisteswissenschaften.

(3) Zu korrespondierenden Mitgliedern können ohne Rücksicht auf ihren Wohnsitz verdienstvolle Gelehrte berufen werden, denen eine regelmäßige persönliche Teilnahme an den Sitzungen und Arbeiten der Gesellschaft nicht möglich ist. Sie können an allen Sitzungen teilnehmen, haben aber kein Stimmrecht. Die Zahl der korrespondierenden Mitglieder ist nicht beschränkt.

(4) Ordentliche Mitglieder, die ihren Verpflichtungen nicht nachzukommen vermögen, können die Überführung in den Status eines korrespondierenden Mitglieds beantragen. Von ordentlichen Mitgliedern, die ohne gerechtfertigten Grund vier aufeinanderfolgenden Sitzungen des Plenums oder ihrer Klasse ferngeblieben sind, muss angenommen werden, dass sie ihren Verpflichtungen nicht mehr nachzukommen vermögen. Auf Vorschlag ihrer Klasse kann durch den Verwaltungsausschuss die Mitgliedschaft in die eines korrespondierenden Mitglieds umgewandelt werden.

### § 5

Die Mitglieder werden auf Vorschlag von mindestens drei ordentlichen Mitgliedern und nach Antrag der zuständigen Klasse durch das Plenum in geheimer Abstimmung gewählt.

(1) Auf die Mitgliedschaft kann durch schriftliche Erklärung gegenüber dem Präsidenten / der Präsidentin verzichtet werden.

(2) Ein Mitglied kann wegen ehrenrührigen Verhaltens ausgeschlossen werden. Für das Verfahren gelten die Vorschriften über die Wahl.

### § 6

(1) Im Plenum und in den Klassen berichten die Mitglieder über eigene Arbeiten und die ihrer Mitarbeiter, die ordentlichen Mitglieder auch über Arbeiten anderer. Der / Die Vorsitzende kann zum wissenschaftlichen Teil der ordentlichen Sitzungen Gäste einladen, die von einem ordentlichen Mitglied eingeführt sind.

(2) Das Plenum hält in jedem Jahr mindestens eine Hauptsitzung ab. Es hört und erörtert Rechenschaftsberichte. Zu den Hauptsitzungen sind auch die korrespondierenden Mitglieder einzuladen.

(3) Das Plenum beschließt über die Geschäftsordnung, die Druckschriftenordnung, die Bestimmungen zur Verleihung der Gauß-Medaille sowie über Änderungen dieser Satzung.

### § 7

Die Gesellschaft gibt die „Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“ sowie ein „Jahrbuch“ heraus. Einzelheiten regelt die Druckschriftenordnung.

### § 8

Die Gesellschaft kann darüber hinaus eigene Forschungsarbeiten durchführen, Forschungsarbeiten ihrer Mitglieder oder Dritter unterstützen, wissenschaftliche Stellungnahmen abgeben und wissenschaftliche Tagungen, Symposien

sowie Vorträge veranstalten. Um der Öffentlichkeit Einblick in wissenschaftliche Probleme zu geben und sie mit den Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeit bekanntzumachen, veranstaltet die Gesellschaft auch öffentliche Vorträge. Ferner kann die Gesellschaft wissenschaftliche Schriften und Berichte herausgeben oder ihre Herausgabe unterstützen.

#### § 9

Die Gesellschaft verleiht, in der Regel jährlich zum Geburtstag von Carl Friedrich Gauß am 30. April, die „Carl-Friedrich-Gauß-Medaille“. Das Verfahren regeln die besonderen Bestimmungen für die Verleihung der Gaußmedaille

#### § 10

(1) Die Leitung der Gesellschaft obliegt dem Präsidenten/der Präsidentin. Er/ Sie beruft die Sitzungen des Plenums ein, stellt die Tagesordnung fest, leitet die Verhandlungen, hat bei allen mündlichen Abstimmungen für den Fall der Stimmengleichheit die entscheidende Stimme, führt den Vorsitz in allen Ausschüssen – soweit nicht andere Regelungen getroffen sind –, unterzeichnet die Sitzungsprotokolle und sorgt für die Ausführung der Beschlüsse. Er/Sie vertritt die Gesellschaft nach außen und hat die Aufsicht über die Geschäftsführung im Benehmen mit den Vizepräsidenten/-präsidentinnen.

(2) Der Präsident/Die Präsidentin wird aus dem Kreis der ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer.

(3) Die Gesellschaft hat zwei Vizepräsidenten/-präsidentinnen. Die Stellvertretung des Präsidenten/der Präsidentin obliegt dem / der dienstälteren Vizepräsidenten/-präsidentin. Die Vizepräsidenten/-präsidentinnen vertreten sich gegenseitig. Zu den Aufgaben eines/einer der beiden Vizepräsidenten/-präsidentinnen gehören vornehmlich die Geschäftsführung sowie die Veranstaltung öffentlicher Vorträge. Dem/Der anderen obliegt insbesondere die Herausgabe der Veröffentlichungen der Gesellschaft.

(4) Für die Wahl der Vizepräsidenten/-präsidentinnen gilt Abs. (2) entsprechend.

(5) Die Wahl des Präsidenten/der Präsidentin und der Vizepräsidenten/-präsidentinnen erfolgt so, dass in jedem Jahr eine der jeweiligen Amtszeiten endet.

#### § 11

(1) Die Leitung der Klassen obliegt den Klassenvorsitzenden; § 10 Abs. 1 Satz 2 gilt entsprechend.

(2) Die ordentlichen Mitglieder jeder Klasse wählen aus ihrem Kreis in geheimer Abstimmung die Klassenvorsitzenden für die Amtszeit von drei Jahren so,

dass jedes Jahr einer der Klassenvorsitzenden ausscheidet. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer.

(3) Die Klassenvorsitzenden werden durch ihre Vorgänger/-innen im Amt vertreten.

## § 12

Der Präsident/Die Präsidentin, die Vizepräsidenten/-präsidentinnen und die Klassenvorsitzenden bilden den Verwaltungsausschuss. Dieser hat die Aufgabe, über Arbeitsvorhaben und Arbeitsweise der Gesellschaft zu beschließen, den Haushaltsplan aufzustellen und über Inventar und Vermögen der Gesellschaft im Rahmen der Beschlussfassung des Plenums zu verfügen. Der Präsident/Die Präsidentin kann zur Beratung des Verwaltungsausschusses Mitglieder der Gesellschaft und andere Persönlichkeiten hinzuziehen, deren Teilnahme im Interesse der Gesellschaft liegt.

## § 13

(1) Der Haushaltsplan ist vor Beginn des Haushaltsjahres (Kalenderjahr) aufzustellen und vom Plenum zu beschließen.

(2) Überschüsse früherer Jahre verbleiben der Gesellschaft; sie sind im Haushaltsplan auszuweisen.

(3) Die Gesellschaft hat nach Ende eines jeden Haushaltsjahres eine Rechnung aufzustellen. Die Rechnung ist, unbeschadet einer Prüfung durch den LRH nach § 111 LHO, durch ein in einem ordnungsgemäßen Vergabeverfahren ermitteltes Wirtschaftsprüfungsunternehmen, zu prüfen. Die Prüfung soll sich auf die Ordnungsmäßigkeit der Rechnungslegung sowie auf die wirtschaftliche und satzungsgemäße Verwendung der Mittel erstrecken.

Das Plenum beschließt ferner über die Entlastung des Verwaltungsausschusses. Die Entlastung bedarf der Genehmigung des MWK und des MF.

## § 14

(1) Zu Wahlen und Beschlussfassungen gemäß § 13 Abs. 1 und 4 muss mindestens die Hälfte der Anzahl der ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren anwesend sein.

(2) Die Wahlen und die Beschlüsse über Satzungsänderungen erfordern eine Stimmenmehrheit von zwei Dritteln aller anwesenden stimmberechtigten Mitglieder. Führt bei der Wahl des Präsidenten/der Präsidentin und der Vizepräsidenten/-präsidentinnen der erste Wahlgang zu keiner Zweidrittelmehrheit, so findet sofort ein zweiter Wahlgang statt. Wird auch hierbei die Zweidrittelmehrheit nicht erzielt, so ist in einem dritten Wahlgang gewählt, wer die abso-



lute Mehrheit erreicht. Notfalls ist eine Stichwahl durchzuführen. Bei Stimmengleichheit entscheidet das Los.

(3) Bei den übrigen Beschlussfassungen und sonstigen Abstimmungen entscheidet die einfache Mehrheit der stimmberechtigten Anwesenden.

(4) Ordentliche Mitglieder können ihr Stimmrecht durch schriftliche Vollmacht auf ein anderes ordentliches Mitglied übertragen; in diesem Fall gelten sie als anwesend.

#### § 15

(1) Die Wahl des Präsidenten/der Präsidentin und der Vizepräsidenten/-präsidentinnen bedarf der Bestätigung durch die Landesregierung.

(2) Der Haushaltsplan und Änderungen dieser Satzung bedürfen der Genehmigung durch die Landesregierung.

(3) Das Ergebnis der Wahlen der ordentlichen Mitglieder und der Klassenvorsitzenden, der Ausschluss eines Mitglieds und der Verzicht eines Mitglieds auf die Mitgliedschaft sind der Landesregierung anzuzeigen.

#### **Übergangsbestimmungen**

Die Satzung tritt mit dem Tag der Genehmigung in Kraft.

Um eine Verzahnung der Amtsdauer im Präsidium zu gewährleisten, gilt bei den ersten Wahlen, dass die Amtsdauer für den Präsidenten/die Präsidentin 3 Jahre, für den einen Vizepräsidenten/die eine Vizepräsidentin 2 Jahre und für den anderen Vizepräsidenten/die andere Vizepräsidentin 1 Jahr beträgt.

## Veranstaltungen der BWG

### 7. Bioethik-Symposium

#### Medizin im Wandel –Individualisierte Medizin auf der Basis humangenetischer Diagnostik

Veranstaltungstag: 02.02.2011

Veranstalter: Akademie für Ethik in der Medizin e. V., Göttingen  
Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Veranstaltungsort: Haus der Wissenschaft, Braunschweig, Pockelsstraße 11

Kein Zweifel – humangenetische Diagnostik am Embryo, am Neugeborenen oder Erwachsenen eröffnet ein weites Feld neuer Erkenntnisse über den Menschen mit seinen Veranlagungen zu Fehlbildungen oder Krankheiten, mit seiner Anfälligkeit für Infektionen, Allergien, Krebserkrankungen oder frühzeitige degenerative Erkrankungen. Auch kennen wir chromosomal-genetische Konstellationen, die mit berechenbarer Wahrscheinlichkeit bestimmte Krankheiten zur Manifestation bringen, z.B. einen Teil der Brust- und der Dickdarmkrebserkrankungen. Es gibt auch Erkenntnisse zur Genetik mancher Stoffwechselkrankheiten, die z.T. bereits im Kindesalter zu Störungen von Psychomotorik und Wachstum führen können. Unentschlüsselt ist jedoch bisher die komplexe Entwicklung polygenetischer, auch umweltabhängiger, mithin multifaktorieller „Volkskrankheiten“ wie Arteriosklerose, Bluthochdruck und Diabetes.

Schon jetzt kann der Manifestation einiger genetisch bedingter Erkrankungen vorgebeugt werden, z.B. der Phenylketonurie der Neugeborenen durch entsprechende Diät. Manche Unverträglichkeit von Medikamenten lässt sich auf genetisch bedingte Störungen der Entgiftungsfunktion im Leberstoffwechsel zurückführen. Hier kann die humangenetische Diagnostik helfen, eine besser verträgliche Pharmakotherapie einzusetzen, sei es mit individueller Dosisanpassung oder mit dem Verzicht auf Medikamente, die Schädigungen hervorrufen können.

Individualisierte Medizin auf dieser Basis erscheint wünschenswert, ist jedoch sowohl auf der biologisch-medizinischen Ebene als auch mit Blick auf rechtliche, ethische und soziale Belange nicht unproblematisch. Welche Vorhersagen sind dem Menschen zumutbar? Wird eine solche Medizin wegen der hohen Kosten der Diagnostik und der individuell angepassten Pharmakotherapie unser Gesundheitswesen überfordern? Ist die biologische Individualisierung recht-

lich und individual- und sozialetisch zu rechtfertigen? Ist der „gläserne Mensch“ ein wünschenswertes Ziel? So vielversprechend die Idee, so problematisch die Praxis „individualisierter Medizin“!

14.00 Uhr *Begrüßung und Einführung*  
 Claudia Wiesemann, Göttingen  
 Joachim Klein, Braunschweig

Moderation: Joachim Klein, Braunschweig

14.15 Uhr Rudi Balling, Luxembourg  
*Was ist genetisch gestützte individualisierte Medizin?*

15.00 Uhr Bernhard Wörmann, Berlin  
*Klinische Perspektiven individualisierter Medizin*

Moderation: Claudia Wiesemann, Göttingen

16.15 Uhr Wolfram Eberbach, Erfurt  
*Juristische Aspekte individualisierter Medizin*

17.00 Uhr Silke Schicktanz, Göttingen  
*Philosophisch-ethische Perspektiven genetisch gestützter individualisierter Medizin*

17.45 Uhr Klaus Gahl, Braunschweig  
*Schlusswort*

## 7. Bioethik-Symposium

### Medizin im Wandel – Individualisierte Medizin auf der Basis humangenetischer Diagnostik<sup>1</sup>

Die rasant wachsenden Möglichkeiten der Gendiagnostik in der Klassifizierung, Therapie und Prognostik von Krankheiten bringen dem Grundlagenforscher und dem in der Versorgungsmedizin tätigen Arzt wie der nationalen und internationalen Jurisprudenz und dem Medizinethiker eine Fülle von Aufgaben, die nicht allein aus der je fachspezifischen Sicht sondern nur in interdisziplinärer Kooperation zu leisten sind. Auch bedarf es der kritischen Information und der wertorientierten Einbeziehung der Gesellschaft in die Reflexion der rasch fortschreitenden Entwicklung. Dem war das 7. Bioethik-Symposium der BWG in Kooperation mit der Akademie für Ethik in der Medizin, Göttingen, unter der Überschrift „*Gen-diagnostisch gestützte individualisierte Medizin*“ im Haus der Wissenschaft Braunschweig gewidmet. Es knüpfte an der Thematik des Vorjahr-Symposiums an.

„Was ist gen-diagnostisch gestützte individualisierte Medizin“ – dieser grundlegenden Frage ging Herr *Prof. Dr. Rudi Balling*, Direktor des Luxembourg Centre for Systems Biomedicine, nach. Der Institutsname weist auf die interdisziplinäre Verzahnung von experimenteller Biologie, Bioinformation, Technologie und klinischer Forschung einschließlich gen-diagnostisch gestützter Medizin. – Ausgehend von dem Beispiel einer nach dem Prinzip „trial and error“ vorgehenden Suche nach einem individuell geeigneten blutdruck-senkenden Medikament mit möglichst geringen Nebenwirkungen stellte Balling den Unterschied zur heute möglichen Medikation auf der Grundlage genetischer Befunde dar. Ziel sei es, das richtige Medikament in richtiger Dosierung gegen die richtige Krankheit für den richtigen Patienten zu finden. Das erfordert die Kenntnis dessen, was in der Manifestation eines Krankheitsbildes erbt und was erworben ist. Erbanlagen sind in den Sequenzen der doppelspiralig umeinander gewundenen Desoxyribonukleinsäure- (DNA-) Ketten in den Chro-

---

<sup>1</sup> Der hier von Klaus P. G. Gahl vorgelegte Bericht enthält Anteile des ausführlicheren Berichtes „7. Bioethik-Symposium: Medizin im Wandel – Individualisierte Medizin auf der Basis humangenetischer Diagnostik, Braunschweig, 2. Februar 2011“, erschienen in *Zschr Ethik in der Medizin* (2011) 23: 327–332, Springer-Verlag Heidelberg.

mosomen „verschlüsselt“; sie werden von sog. Messenger-Ribonukleinsäuren (mRNA) auf die Eiweiß produzierenden Ribosomen in der Zelle übertragen als Muster für die Synthese der für den Aufbau- und Erhaltungs-, den Wachstums- und Funktionsstoffwechsel der Zellen, Organe und des Gesamtorganismus nötigen Proteine. Die Analyse der DNA-Bausteine, der genetischen Einzelinformation erlaubt inzwischen, die Disposition für > 3000 unterschiedliche „Krankheitsentitäten“ zu erkennen.

Beispiel *Brustkrebs*: die bei einigen der Patientinnen vermehrte Bildung („Expression“) eines Rezeptors auf der Oberfläche von Brustkrebszellen macht den Tumor empfänglich für den Wachstumsstimulus von Oestrogen; dem ist durch den Hormon-Rezeptor-Hemmstoff Tamoxifen zu begegnen. Mittels dieses Medikamentes ist die Prognose für die „rezeptor-positiven“ Patientinnen deutlich zu verbessern.

Anders ist die Überaktivität eines „Signalmoleküls“, einer Tyrosinkinase, an der Oberfläche von Zellen der *chronischen myeloischen Leukämie* zu erklären, bei der durch Austausch („Translokation“) von Teilen zwischen den Chromosomen 9 und 22 ein „Fusionsprotein“ gebildet wird. Die so entstehende „hyperaktive“ Tyrosinkinase stößt die Kaskade der Wachstumsstimulation von der Zelloberfläche zum Zellkern an und löst damit das Tumorstadium der Leukämie-Zellen im Knochenmark aus. Hemmstoffe des Signalezyms, sog. Tyrosinkinase-Inhibitoren (TKI), unterbinden den Stimulus und hemmen so die Entwicklung der Leukämie-Krankheit. Balling sprach von der „molekularen Diagnose“ von Subgruppen von Krankheiten, die bisher unter *einer* Bezeichnung zusammengefasst wurden

Die heute mögliche Automatisierungs- und Miniaturisierungstechnologie erlaube inzwischen binnen weniger Stunden eine nahezu vollständige Sequenzierung der chromosomalen DNA, und damit eine Aufklärung genetisch veranlagter Krankheiten.

War es bis vor wenigen Jahren allein die feingewebliche Untersuchung von Tumorgewebe unter dem Mikroskop, die eine Diagnostik und Gewebsdifferenzierung und „-typisierung“ ermöglichte, so ist es heute die molekulare Analyse von Eiweißen („Proteomik“) und des Genoms („Genomik“), die genetische Dispositionen zu Stoffwechselstörungen, neurodegenerativen Erkrankungen oder den individuellen Typen eines Tumors zu erkennen erlaubt. Für zahlreiche Krebsarten ergibt sich daraus eine individuelle Behandlungsmöglichkeit, sowohl für ein lokales als auch für ein auf die regionalen Lymphknoten oder sogar fernmetastatisch ausgebreitetes Tumorleiden.

Die Gen- oder Enzym- (Eiweiß-) Typisierung erlaubt in vielen Fällen auch eine „Stratifizierung“ von Patientenpopulationen, die unterschiedlich auf Medikamente ansprechen – von optimal bis gar nicht. Als Beispiele nannte Balling die „Überexpression“ von ERB-2 bei Brustkrebs, die durch entsprechende Rezep-

tor-Antikörper (z.B. Trastuzumab = Herceptin®) blockiert werden kann; eine für die Pathogenese des allergischen Asthma bronchiale wichtige Arachidonsäure-5-Lipoxygenase, die in der Leukotrien-Bildung beteiligt ist; Mutationen dieses Gens führen zu einer verminderten Antwort auf anti-asthmatische Anti-Leukotriene.

Die Möglichkeiten der Basierung medikamentöser Therapie auf genetischen Befunden rufen die Frage auf, ob die klinische Diagnostik von Krankheitsmanifestationen oder die Diagnostik genetischer Krankheitsdispositionen zu deren Prävention intensiviert werden sollte. Balling sprach von einem „Tsunami“ der mit den Analysemöglichkeiten unvorhersehbar wachsenden Datenflut. Die ca. 20.000 menschlichen Gene aus ca. 3 Milliarden Nukleotid-Basenpaaren kodieren für ca. 200.000 Proteine und 1.000 Stoffwechselprodukte. Das Genom jeder Zelle ist in dem biologischen Netzwerk und den Systemen von „Schaltkreisen“ der Regulator. Es ist aber für die aktuelle Krankheit nur ein mehr oder weniger bestimmender Faktor neben dem intra- und extrazellulären Umfeld, der „Umwelt“ i.w.S. in einem multifaktoriellen Zusammenspiel. Auch diese Einflüsse bedürfen – eingebettet in epidemiologische regionale und überregionale Erhebungen – der individuellen Aufklärung. So ist die gen-diagnostisch gestützte Medizin immer auch eine sozietäts-gestützte und mehr oder weniger globale Medizin. Am Ende warb Balling für eine stärker persönlich orientierte Medizin.

Herr Prof. Dr. med. Bernhard Wörmann, Hamburg, führte prägnant das schon jetzt breite diagnostische und prognostische Aufgabenfeld gen-diagnostisch gestützter Medizin vor Augen. Ihre Bedeutung in der Onkologie liegt in der Prävention, der Früherkennung, der diagnostischen Sicherung und Typisierung einer klinisch manifesten Krankheit und deren Therapie, wie auch in der Sekundär- und Rezidivprophylaxe und -therapie und der prognostischen Beurteilung durch Selektion geeigneter Medikamente für den einzelnen Patienten.

Als Wirkungsmechanismen der das Zell- und Tumorwachstum hemmenden Medikamente kommen prinzipiell mehrere in Betracht: die „Besetzung“ der für Wachstumsfaktoren (Onkogene) empfänglichen Rezeptoren an der Oberfläche der Tumorzellen (z.B. durch Antikörper); die Hemmung der Übertragung des „Wachstumsimpulses“ durch den zellwandgebundenen Rezeptor ins Innere der Zellen (z.B. durch Tyrosinkinase-Inhibitoren); die Unterbrechung der Signaltransduktion innerhalb der Zelle zum Zellkern (auch durch TKI); die Hemmung des Nukleinsäure- (DNA-) Stoffwechsels und der „Transkription“ der DNA-Information über mRNA auf die Eiweißsynthese in der Zelle (z.B. durch Antimetaboliten).

Wörmanns erstes Beispiel war die *chronische myeloische Leukämie (CML)*, für die 1960 Nowell eine zytogenetische Aberration (Philadelphia-Chromosom) beschrieben hat; 1973 und 1983 wurde die reziproke Translokation von Teilen

der Chromosomen 9 und 22 (t 9;22) mit der Kodierung für ein „Fusionsprotein“ mit der Wirkung einer Tyrosinkinase identifiziert. Mit der gezielten Hemmung des durch die Translokation entstehenden BCR-/ABL-Protoonkogens, das die Transformierung normaler blutbildender Knochenmarkzellen zu Leukämie-Zellen bewirkt, mittels des TKI Imatinib wird die Todesrate gegenüber den konventionell zytostatisch behandelten Patienten signifikant gesenkt.

Anders ist die Situation bei der *akuten myeloischen Leukämie (AML)*, die (nach der WHO 2008) in 26 verschiedene Entitäten einschließlich zahlreicher genetisch definierter Formen klassifiziert wird. Während für die meisten Formen nur die ungezielte zytostatische Therapie in Frage kommt, lässt sich die relativ seltene *akute Promyelozytenleukämie* (mit der Gentranslokation t15;17) durch All-Trans-Retinol-Säure (ATRA) + Chemotherapie gut behandeln. ATRA führt zu einer normalen Differenzierung der Vorstufen der Leukämie-Zellen zu reifen Knochenmarkzellen, die die für die Patienten deletäre Blutgerinnungsstörung (die intravasale disseminierte Blutgerinnung DIC mit Verbrauchskoagulopathie) unterbinden. Die Überlebenschancen sind deutlich verbessert. Für andere Formen der AML hat die mit der Knochenmarktransplantation kombinierte Chemotherapie günstigere Remissionsraten.

Die mit dem Alter zunehmende *chronische lymphatische Leukämie (CLL)* weist häufig Chromosomenanomalien auf, die zu ganz unterschiedlichen Prognose-raten (Tumormassenzunahme oder Lymphozyten-Verdoppelungszeit) führen. Bei einigen Formen ist der Einsatz von monoklonalen Antikörpern (Alemtuzumab), kombiniert mit Fludarabin, indiziert. Nach neueren Erkenntnissen ist der Nachweis eines Vorstadiums der *CLL* mittels molekulargenetischer und immunologischer Methoden möglich. Da jedoch derzeit nicht nachgewiesen ist, dass eine Therapie in diesem Frühstadium die Prognose der Patienten verbessert, werden diese Untersuchungen nicht routinemäßig durchgeführt.

Der 1. Teil von Wörmanns Vortrag galt der Bedeutung chromosomaler Normabweichungen in der Diagnostik und Klassifikation manifester Krankheiten (hier Leukämien), der 2. der Erkennung von genetisch fehl-kodierten Zelloberflächenrezeptoren für (tumor-) wachstumsfördernde Faktoren (EGFR) oder von ihnen angestoßene intrazelluläre Signaltransduktoren. Damit wird die Gentypisierung bei den sog. soliden Organtumoren für Therapieentscheidungen ebenso wichtig wie bei den Leukämien. Dem dienen auch epidemiologische Krebsregister. Sie sind für die Erfassung möglicher exogener krebs-auslösender und -fördernder Faktoren, zur Beurteilung verschiedener Therapie-Regime und für die prognostische Beurteilung des spontanen und des therapeutisch beeinflussten Verlaufes von Tumorkrankheiten wichtig. Derartige Register zeigen die relative Häufigkeit von Tumoren unter Frauen und Männern in unterschiedlichen Altersklassen. In Deutschland ist bei Frauen der Brustkrebs der führende bösartige Tumor vor Dickdarm- und Lungenkrebs; bei Männern überwiegt bei weitem der Lungenkrebs vor Dickdarm- und Prostata-Karzinom.

Das *Bronchialkarzinom* gehört bei Männern und Frauen zu den führenden Krebs-Todesursachen in Deutschland (Inzidenz<sup>2</sup> von 14,2 % bzw. 7,4 %) mit hoher Sterblichkeit<sup>3</sup> (25,7 % bzw. 12,1 %). Lungen- oder Bronchialkarzinome werden histologisch unterteilt in „kleinzellige“ (15–20%) und die heterogene Gruppe „nicht-kleinzelliger Karzinome“ (NSCLC >80%). Von diesen lassen sich bei ca. 10–15% im Tumorgewebe aktivierende Mutationen des Zelloberflächen-Rezeptors EGFR (Epidermal growth factor receptor) für onkogene = tumorwachstum-auslösende oder -fördernde Substanzen nachweisen. Diese Mutation stimuliert über eine Signaltransduktionskette von Tyrosinkinase das Zellwachstum. Die signifikante Verbesserung der Prognose der auf die Behandlung mit TKI ansprechenden Patienten im Vergleich mit der konventionellen (operativen und zytostatischen) Therapie spricht für die Suche nach der EGFR-Mutation für die Entscheidung zur bestmöglichen Therapie.

In der Behandlung des *Dickdarmkrebses* steht nach der operativen Tumoresektion zur Reduktion des Risikos von Lokalrezidiven und Fernmetastasen das 5-Fluorouracil (5-FU) zur Verfügung, das auch gegen Brustkrebs eingesetzt wird. Die Substanz wird intrazellulär durch Dihydropyrimidin-Dehydrogenasen (DPDH) inaktiviert. Infolge einer sog. Punktmutation mit folglichem erblichen DPDH-Mangel (in < 1% der Patienten) können sich toxisch hohe Blut- und Knochenmarkspiegel der Substanz aufbauen, die zu fatalen Nebenwirkungen führen können (Knochenmarkschädigung mit u. U. lebensbedrohlicher Agranulozytose). Eine gen-diagnostisch gestützte Therapie ist jedoch erst mit Antikörpern gegen EGFR an der Tumorzelloberfläche (bei gleichzeitigem Nachweis von nicht mutiertem KRAS-Gen) möglich. Deren Anwendung setzt den kombinierten Einsatz immunologischer Methoden zum Nachweis der spezifischen Rezeptoren und den Ausschluss von KRAS-Mutationen voraus. Die gegenüber der konventionellen Behandlung verbesserten Heilungsraten rechtfertigen die teure Therapie, wenn der Kranke nicht auf die bisherige Standardtherapie anspricht oder Nebenwirkungen ein zu hohes Risiko bringen.

Der *Brustkrebs (Mammakarzinom)* ist bei Frauen weltweit die häufigste Krebserkrankung, bis zu 5% genetisch bedingt. Am häufigsten sind Mutationen der Tumorsuppressorgene BRCA1 und 2. Von den Gen-Trägerinnen erkranken 55–85% im Laufe ihres Lebens an Brustkrebs, oft beidseitig und meist früher als bei der nicht genetisch veranlagten Form. Lässt sich am Tumorgewebe selbst eine Überexpression des „human epidermal growth factor receptor“ (HER2)

<sup>2</sup> Inzidenz = Zahl der neu auftretenden Erkrankungsfälle pro Jahr bezogen auf die Zahl der in der Bevölkerung nicht betroffenen Menschen.

<sup>3</sup> Sterblichkeit = Mortalität = Zahl der in der Gesamtbevölkerung an der Krankheit Verstorbenen. – Letalität = Zahl der an der Krankheit Verstorbenen bezogen auf die Zahl der Erkrankten.



nachweisen, ist eine zusätzliche Behandlung mit einem monoklonalen Antikörper möglich (Trastuzumab = Herceptin®). Er blockt HER2 und hemmt damit das Tumorwachstum. Die Überlebensrate der Frauen wird hochsignifikant verbessert. Ein weiteres pharmakologisches Ziel ist die durch HER2 gesteigerte Tyrosinkinase-Aktivität, die ebenfalls zum Tumorwachstum führt. TKI (zusätzlich zur bisher bevorzugten Therapie) steigern die Verbesserung und die progressionsfreie und die Gesamtüberlebenszeit signifikant.

Die Möglichkeit gen-diagnostisch gestützter Therapie wird (nicht nur beim Mammakarzinom) durch sog. Genexpressionsprofile erweitert. Aufgrund derartiger „Profile“ („70-Gen-Signatur“ MammaPrint® oder 21 Gene bei „Oncotype DX®“) lassen sich von klinisch-pathologischen Prognose-Faktoren (Alter, Tumorgroße, histologischer Tumortyp, pathologisches Grading, Lymphknoten- und Hormonrezeptorstatus oder Überexpression von HER2) unabhängige prognostische Informationen gewinnen. Aufgrund solcher Profile sind bereits im Frühstadium (ohne Lymphknotenbefall und Hormonrezeptor-positiven Befund) drei Gruppen von Patienten hinsichtlich der progressionsfreien und der Gesamtüberlebenszeit zu unterscheiden: bei niedrigem Rezidiv-Risikoprofil profitieren die Frauen gar nicht, bei hohem Risikoprofil jedoch eklatant über einen Zeitraum von 10 Jahren.

Molekulargenetische Diagnostik dient demnach nicht nur der Entscheidung zur kurativen Therapie im akuten Krankheitsstadium sondern auch der zur Sekundärprophylaxe.

Als Beispiel für nicht tumoröse, wohl aber genetisch disponierte Erkrankungen nannte Wörmann angeborene Blutgerinnungsstörungen (Koagulopathien) mit der Faktor-V-(Leiden)-Mutation mit der sog. APC-Resistenz oder dem genetisch bedingten Protein-C- oder -S- oder Antithrombin-III-Mangel. Derartige Konstellationen führen spontan oder durch nicht-genetische Einflussfaktoren (Immobilität, Operationen, Medikamente, Schwangerschaft, Übergewicht u.a.) zu deutlich erhöhter Thromboseneigung mit Rückfallrisiko. Die Faktor-V-Mutation macht den Träger resistent gegen das aktivierte Protein-C, das für die Blutgerinnung wichtig ist. Wenngleich bei heterozygoter Faktor-V-Mutation (in ca. 5–8% der europäischen Bevölkerung, bei Thrombose-Patienten in 30–40%) das Thromboserisiko im Vergleich zur Normalbevölkerung um das 5 bis 10fache, bei homozygoter Mutation sogar auf das 50 bis > 80fache erhöht ist, gibt es bisher keine Empfehlung für präventive genetische Untersuchungen im Blick auf Therapieentscheidungen oder die Prophylaxe mittels Antikoagulantien.

Wörmanns sehr klare Darstellung der jetzt schon erstaunlich vielfältigen Perspektiven gen-diagnostisch gestützter individualisierter Medizin von der Prävention über Diagnostik, prognostische Beurteilung und Therapie-Steuerung bis zur Sekundär-(Rezidiv-)Prophylaxe machte die Bedeutung dieses fast explosiv wachsenden Bereiches der praktischen Medizin überaus deutlich.

In die vielfältige *rechtliche Problematik* gen-diagnostisch gestützter individualisierter Medizin führte MinDir. Dr. jur. Wolfram Eberbach, Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Erfurt, ein.

Wenngleich seit jeher Ärzte stets bemüht sind, dem einzelnen Kranken gerecht zu werden und „individualisierte Medizin“ nicht neu scheint, so sind doch Diagnostik und Therapie mehr oder weniger standardisiert, d. h. auf kollektive Erfahrung gestützt. Im Rahmen des Symposiums ging es aber um gen-diagnostisch gestützte Medizin. Deren Voraussetzung ist die Kenntnis von Genvarianten, die für die Krankheitsentwicklung oder für die Wirksamkeit zu wählender Medikamente mitbestimmend sind. Zugleich ergibt sich die Chance, auch für sog. *seltene Krankheiten* (< 1:2.000 Personen; in Deutschland etwa 2,5 bis 5 Mill.) „maßgeschneiderte“ Therapien zu entwickeln. Die *Handlungsdimensionen* dieser Medizin reichen von der benötigten Technologie und Kenntnis der Forschungslage zu Standardtherapien und möglichen Stratifizierungen von Patientengruppen bis zur Stärkung des Patientenwissens; von der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen, der Erstellung von Datenbanken, der Entwicklung neuer Diagnostika und Therapeutika bis zu forcierten Präventionsangeboten; von den sozioökonomischen Rahmenbedingungen wie der Kooperation multipler Partner, neuen Zulassungsprozessen und Erstattungsstrategien bis zum Schutz der Privatsphäre; schließlich von den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen auf den Marktzugang für neue Therapien bis zur angemessenen Preisgestaltung im Gesundheitssystem.

## I. Arzt-Patienten-Verhältnis

*1. Aufklärung:* Wie alles ärztliche Handeln der vermittelbaren Begründung, der Aufklärung über Sinn und Zweck, Nutzen und Risiko, Durchführung und Alternativen bedarf, so auch die gen-diagnostisch gestützte Medizin. Die *Informationsansprüche* der Patienten werden sich beträchtlich erweitern. Damit stellen sich *höhere Anforderungen* an die ärztliche Fähigkeit, schwierige Sachverhalte verständlich zu erklären. Zu beachten sind dabei die Vorschriften des *Gen-diagnostikgesetzes*: Nach §§ 9ff GenDG ist der Patient *aufzuklären* über Wesen, Bedeutung und Tragweite genetischer Untersuchungen. Eine Einwilligung vorausgesetzt, muss der Arzt den Patienten zusätzlich *beraten*. *Aufklärung* und *Untersuchung* dürfen grundsätzlich von jedem Arzt durchgeführt werden. Die *genetische Beratung* darf hingegen nur ein *Facharzt* für Humangenetik vornehmen oder ein Arzt, der sich gemäß *Weiterbildungsordnung qualifiziert* hat. Da vermutlich künftig genetische Untersuchungen *zunehmen* und Fachärzte für Humangenetik zeitlich kaum in der Lage sein werden, die Aufklärungs- und Beratungserfordernisse zu erfüllen, kann sich für *niedergelassene Ärzte* die Frage stellen, ob es sinnvoll ist, eine solche *Zusatzqualifikation* zu erwerben. Auch der *fachärztlich* oder *humangenetisch qualifizierte Arzt* wird sich einen viel höheren Wissensstand als bisher erarbeiten müssen. *Prädiktive* genetische Un-

tersuchungen erfordern eine vorausgehende Beratung. Sie dürfen grundsätzlich nur von einem FA für Humangenetik oder für genetische Untersuchungen qualifizierten Ärzten durchgeführt werden. Unter dem Aspekt der *Arzthaftung* ergeben sich Folgerungen: Versäumt der Arzt, seinem Patienten eine mögliche individualisierte Diagnostik anzubieten, kann ihn der Vorwurf treffen, *fehlerhaft gehandelt* zu haben; bietet er zwar die notwendige Diagnostik an, wird aber den erhöhten Anforderungen an die Aufklärung nicht gerecht, ist eine erteilte *Einwilligung* des Patienten in die Untersuchung unwirksam. Auch hier drohen dem Arzt wegen eines *Aufklärungsfehlers* haftungsrechtliche Folgen; so auch dem die *genetische Beratung* durchführenden Arzt bei unzulänglicher Wissensvermittlung.

Die vom Gesetz geforderte Ausführlichkeit der Aufklärungs- und Beratungsgespräche und deren *Zeitaufwand* müssen in der *ärztlichen Gebührenordnung* angemessen berücksichtigt werden.

2. *Therapie*: Auch *Therapieentscheidungen* werden *verschärften Anforderungen* unterliegen. Der Patient hat grundsätzlich *Anspruch* auf eine optimale *Therapie*. Das erfordert eine exakte Diagnose und die Wahl der *risikoärmsten* und bestmöglichen Medikation. Es geht um das richtige Medikament in der richtigen Dosierung für den richtigen Patienten.

Der „Standard“ der Therapie wird damit bei der individualisierten Medizin *zunehmend differenziert*. *Tendenziell* ist er damit *in Auflösung begriffen*. Je kleiner weil spezifischer die Patientengruppen, desto weniger kann man doch von Behandlungs-Standard sprechen.

Hieraus ergeben sich folgende Konsequenzen: Die Aufteilung in genetische Sub-Gruppen entzieht der Forderung nach einer *Evidenzbasierung* der Therapie den Boden. Der Arzt wird sich nicht auf kollektive Erfahrungen stützen können, wo es um *individualisierte Therapie* geht. Verfehlt der Arzt die Individualisierung durch falsche Sub-Gruppen-Zuordnung und wählt er daher eine suboptimale Behandlung, drohen ihm *haftungsrechtliche Folgen*.

## II. Neue Aspekte

Neben diese traditionellen Felder des Arztrechts treten zusätzliche, von der Individualisierung der Medizin ausgelöste Herausforderungen.

1. *Mitbetroffene Verwandte*: Genetisch gestützte Medizin erlaubt auch immer genauere *Erkenntnisse* darüber, ob Verwandte des untersuchten Patienten auch Träger bestimmter Dispositionen zu Erbkrankheiten sind. Damit bekommt die *ärztliche Schweigepflicht* eine größere Tragweite. Zumal bei vermeidbaren oder behandelbaren Erbkrankheiten könnte man eine *moralische Pflicht* sehen, Verwandte darüber zu *informieren*. Ihnen würde damit ermöglicht, sei es für sich selbst, sei es für eventuelle Nachkommen Vorsorge zu treffen. Andererseits be-

steht die Gefahr, den betroffenen Verwandten ein *unerwünschtes Wissen* aufzudrängen. Das *Recht auf Wissen* des einen kann in Konflikt geraten mit dem *Recht auf Nichtwissen* anderer.

Das *Gendiagnostikgesetz* (in § 10, Abs. 3) hat diese Problematik aufgegriffen. Der Arzt darf sich nicht ungefragt an die Verwandten wenden, sondern er hat dem Untersuchten zu empfehlen, den Angehörigen nahezulegen, sich ggf. einer genetischen Beratung zu unterziehen. Das Gesetz hat den *Arzt* aus der rechtlichen Verantwortung entlassen.

2. *Vorsorge*: Die individualisierte Medizin wird auch die *Prävention* von Krankheiten verändern. Problematisch ist bereits, wie weit es überhaupt um *Krankheit* geht.

a) Zum *Krankheitsbegriff*: Ohne auf dessen umfangreiche Diskussion einzugehen, scheinen zwei Überlegungen plausibel: Gesund- und Kranksein stellen Eckpunkte eines *Kontinuums* leiblicher Befindlichkeit dar. Eine *allgemeine Definition*, bei welcher spezifischen Befindlichkeit *begrifflich* Gesundheit in Krankheit umschlägt, erscheint deshalb kaum möglich. Oft wird schon ein als pathologisch beurteilter genetischer Befund, eine Krankheitsanlage, wie eine manifeste Krankheit als *behandlungsbedürftig* angesehen. Ein solcher deontologischer, d.h. ein zur Behandlung verpflichtender Krankheitsbegriff würde auch für die *prädiktive Medizin* gelten.

b) *Präventive Medizin – primäre Prävention*: Mit der *primären Prävention* soll i. S. der *Prophylaxe* das Krankwerden verhindert oder doch hinausgeschoben werden. Dem dienen vor allem eine gesundheitsbewusste Lebensweise und Screening- und Früherkennungsuntersuchungen. Die gen-diagnostisch gestützte Medizin könnte hier künftig insofern nützen, als sie präzisere Auskunft geben mag, ob der Ratsuchende auf bestimmte *genetische Gegebenheiten* achten muss. Eine unzureichende Beratung kann hier strafrechtliche Konsequenzen haben.

c) *Prädiktive Medizin – sekundäre Prävention*: Genetische Untersuchungen können auch bei symptomlosen Patienten *Krankheitsdispositionen* aufdecken; ob und wann sich diese als Krankheit manifestieren, ist kaum mit Sicherheit vorauszusagen. Darin aber eine Indikation zur Intervention sehen zu wollen, ist problematisch. Es bedarf einer sehr differenzierten *Aufklärung* und *Abwägung*.

– Die zunehmenden Möglichkeiten prädiktiver Diagnostik steigern den immer größeren *Wissensbedarf* der Patienten. Nicht nur *nach*, sondern auch schon *vor* der Untersuchung ist eine ausführliche *genetische Beratung* vorgeschrieben (§ 10 Abs. 2 GenDG). Das stellt immer höhere Ansprüche an das *Wissen des Arztes* und seine Fähigkeit, dieses Wissen angemessen dem Patienten zu *vermitteln*.

3. *Wunscherfüllende Medizin*: Die wachsenden Möglichkeiten medikamentöser *Steigerung gesunder Fähigkeiten* (Enhancement) oder chirurgischer *Ver-*

*schönerung* wecken immer mehr die Bitte um derartige „individualisierte“, wenngleich nicht gen-diagnostisch gestützte Maßnahmen. Medizinrechtlich relevant ist hier das Fehlen der medizinischen *Indikation*. Allein die *Einwilligung* rechtfertigt den Eingriff. Wunscherfüllende Medizin erfordert ein Höchstmaß an Aufklärung. In ihr treffen kumulativ die gesteigerten *Informationspflichten* der individualisierten Medizin und die vom Recht geforderte umfangreiche *Aufklärung* zusammen. Auch steigen die *Haftungsrisiken* für den Arzt weiter an.

5. *Individualisierte Nahrungsmittel*: Künftig sollen bei gen-diagnostisch ermittelten Nährstoffunverträglichkeiten genetisch „angepasste“ Nahrungsmittel vorbeugend oder lindernd verschreibungsfähig werden. Der Konnex zur individualisierten Medizin ist offensichtlich. Wie ist aber der *Marktzugang* solcher „Pharma-Lebensmittel“ zu regeln: nach den gleichen *Zulassungsverfahren* wie Medikamente oder gemäß Nahrungsmittelgesetzen? Werden die Gesetzlichen Krankenkassen sie bezahlen? Können sie die Voraussetzung der Notwendigkeit für eine ärztliche Behandlung erfüllen? Wie wird der *Verbraucherschutz* organisiert?

Der Umfang medizinisch relevanter ärztlicher Beratungs- und Aufklärungsgegenstände wird damit beträchtlich ausgeweitet. Der Arzt muss die genetische Konstitution seiner Patienten mit den pharmazeutischen Inhaltsstoffen und ihren spezifischen Wirkungen „abstimmen“. Auch hier sind Haftungsfälle wegen unzulänglicher *Beratung* nicht ausgeschlossen.

### III. Individuelle gegen gesellschaftliche Interessen

Genetisch gestützte Medizin eröffnet vielfältige medizinische Handlungsoptionen, die individuell wahrgenommen, jedoch bisher nicht gesellschaftlich gefordert werden können, würde doch damit das „*Recht auf Nichtwissen*“ der eigenen genetischen Disposition tangiert. Einer solidarisch begründeten Wissenspflicht setzt das *Gendiagnostikgesetz* Grenzen.

Im Blick auf die Solidargemeinschaft mit ihrem Anspruch auf funktionsfähige soziale Sicherungssysteme erweist sich die Freiheit zur „Test-Verweigerung“ mit ihren möglichen medizinischen Konsequenzen jedoch als problematisch. Zu diskutieren ist, ob „Testverweigerer“ zur Kostenübernahme bei Erkrankungen, die in Kenntnis der genetischen Disposition hätten vermieden oder besser behandelt werden können, verpflichtet werden können mit dem Hinweis auf eine sozial erwartete Übernahme von Eigenverantwortung.

#### *Zusammenfassung und Ausblick:*

Auf der *individuellen Ebene* wird die gen-diagnostisch gestützte Medizin die Kenntnisse über Ursachen, Bedingungen und Therapiemöglichkeiten vieler Krankheiten bringen. Damit steigen die Erwartungen und Forderungen an die

Gesundheitsverantwortung und das Gesundheitsverhalten der (potentiell) Kranken an. Seitens der Ärzte wachsen die Anforderungen an das Wissen, an die Informations- und Kommunikationskompetenz. Die Therapie wird sich von bisherigen Standards zu subpopulationsbezogenen Behandlungen bewegen. Die Herstellung „pharmazeutischer Lebensmittel“ wird die Medizinalberufe mit weiteren Wissens- und Aufklärungs(an)forderungen belasten.

Auf der *kollektiven Ebene* werden im *Gesundheitssystem* Änderungen der *Gebührenordnung* für Beratungsaufwand und Haftungsrisikoabdeckung sowie neue *Zulassungsverfahren* für Medikamente und eigens für pharmazeutische Lebensmittel entwickelt werden müssen. Auch sind *Individualrechte* zum Schutz der Privatsphäre und *Kollektivinteressen* im Blick auf die Funktionsfähigkeit der solidarischen *Sozialsicherungssysteme* neu auszutarieren.

Der Vortrag von Herrn Dr. Eberbach verdeutlichte, wie vielfältig derzeitige Grenzen gültiger Patientenrechte und Arztpflichten durch die gen-diagnostisch gestützte Medizin erweitert und neu formuliert werden müssen.

Über „ethische Perspektiven 'individualisierter' Medizin“ sprach Frau *Prof. Dr. Silke Schicktanz*, Institut für Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin der Universitätsmedizin Göttingen.

Zielsetzung gendiagnostisch gestützter Medizin sei vornehmlich die Sicherung medikamentöser Therapie durch Vermeidung von Pharmaka, die genetisch-metabolisch bedingt für einzelne Personen unwirksam sind oder die schwerwiegende Nebenwirkungen befürchten lassen. Ob eine so auf den Patienten zugeschnittene Behandlung wirklich einer Individualisierung, gar einer Personalisierung der Medizin entspricht, stellte Schicktanz in Frage. Vielmehr werde durch die Gendiagnostik nur eine statistische Aussonderung von Personengruppen aus der Bevölkerung vorgenommen, für die aufgrund ihres genetisch bestimmten Arzneimittel-Stoffwechsels ein Nutzen einer ins Auge gefassten Medikation zu erwarten ist. Hier könnten jedoch falsche Erwartungen in die Aussagekraft von genetischen Tests (sie erreichen nie eine 100%ige Sensibilität und Spezifität) geweckt werden, auch durch metaphorisch manipulativen Wortgebrauch („Therapiesicherheit“, „responder/non-responder“, „persönliche Medizin“).

So wünschenswert die Zielsetzung (Reduktion von Nebenwirkungen bei fehlendem Nutzen, individuell angepasste Dosierung, Kostenersparnis von nicht effektiven Medikamenten), so ist doch zu bedenken, dass (1.) nicht alle getesteten Patienten profitieren, (2.) auch bereits bekannte Behandlungsregime hinsichtlich des individuellen Nutzens und der Risiken evaluiert werden müssen, (3.) dieser forschungsintensive Bereich zu erheblichen Kostensteigerungen im Gesundheitswesen führen wird. Schließlich darf die Fokussierung auf Genkonstellationen nicht den Kranken als Person aus den Augen verlieren lassen.

Als Beispiel für eine auf individualisierte Medizin zielende Kooperation von Onkologen, Chirurgen, Strahlentherapeuten und Pathologen nannte Schicktanzen das KFO 179 Projekt in Göttingen (seit 2008) unter Einbeziehung krankheitsrelevanter Genexpressions-Marker. Das Projekt macht die Notwendigkeit solcher interdisziplinären Kooperation deutlich und lässt die vielfältigen praktischen und ethischen Fragen der Umsetzung derartiger Projekte in der Betreuung chronisch Kranker und von Tumorpatienten im Besonderen erkennen. Die erwartete Verbesserung der Arzt-Kranker-Interaktion, die größere Zufriedenheit der Patienten im Blick auf verlängerte Überlebenszeiten und bessere Lebensqualität ist gleichwohl schon jetzt zu erkennen. Es bleiben die Probleme der nicht mehr auf die enge Zweierbeziehung im Arztkontakt konzentrierten Bindung, das Problem der Einwilligung in die genetische Diagnostik und des Umgangs mit der genetischen Information, an die sich positive Erwartungen und Ängste knüpfen. Auch bleibt zu fragen, wie mit den Kranken, die voraussichtlich nicht von der Therapie profitieren („non-responder“), umzugehen ist, für die nur die nicht zufrieden stellenden „konventionellen“ Behandlungsverfahren in Frage kommen. In der Betreuung anderer chronisch Kranker, so mehr noch bei Tumor-Patienten ist die psychische Belastung auch der Angehörigen in der Kommunikation immens. Wie schon nicht tumor-krankte Personen mit chronischen, nur linderbaren, aber nicht heilbaren Krankheiten (schwerwiegende rheumatologische oder immunologische Erkrankungen), so stellen Krebs-Kranke besondere Herausforderungen an die Interpretations-, Informations- und Kommunikationskompetenz der Ärzte bezüglich der methodischen, diagnostischen und prognostischen Aussagen. Auch ist die immense psychische Belastung der Angehörigen zu beachten. Kritisch bleiben die Integration genetischer Daten in die gesamtklinische Beurteilung und die Abwägung zwischen klinischer Evidenz und Erfahrung. Individuell stellt sich das Problem des für jede Therapie, ja auch jeden diagnostischen Eingriff unabdingbaren „informed consent“, ohne den ärztliche Behandlung rechtlich nicht zulässig ist. Ist schon durch die genetische Diagnostik als solche die Arzt-Patient-Beziehung zu der Verantwortung für biologisch Verwandte hin aufgebrochen, so ist durch die Berücksichtigung der Kosten – ob nun für eine gen-diagnostisch gestützte Erfolg versprechende oder für eine unsichere oder gar vermutlich unwirksame Therapie – die Entscheidung eingebettet in die Belange der Solidargemeinschaft.

Für die Pharma-Industrie stellt sich angesichts der genetischen Ermittlung nur kleiner Patientengruppen die Aufgabe, Therapeutika herzustellen für stets nur kleine Patientengruppen (sog. orphan disease Untergruppen).

Schicktanzen fasste ihren Vortrag dahingehend zusammen, dass für den Medizinethiker die Chance gen-diagnostisch gestützter Medizin in einer frühzeitig ansetzenden sozial-empirischen und ethischen Folgenforschung entsteht; eine kritische Reflexion der hohen Erwartungen und der unangemessenen, mögli-

cherweise auch manipulativen Rhetorik erforderlich sei; die Gefahr einer genetischen Biologisierung komplexer Erkrankungen und pharmakologischer Prozesse bestehe; die genetisch gestützte Medizin nicht von der Verpflichtung der sorgfältigen Prüfung und der Verfolgung hoher Standards bezüglich konventioneller Therapieverfahren entbinde und eine besonders sensible Kommunikationskompetenz für die Ermittlung des „informed consent“ nötig ist; dass schließlich die „non-responder“ für die Betreuung nicht nur psychisch schwierig sondern auch aus ethischer Sicht besonders zu beachten seien.

### **Schlusswort:**

Birgt schon die genetische Diagnostik als solche mit der Überschreitung der Arzt-Patient-Beziehung auf Drittpersonen hin, auf die biologischen Angehörigen, rechtliche und ethische Probleme, so werden diese im Zusammenhang mit der darauf gestützten Medizin in Früherkennung, Prävention, Therapie und Prognose um ein Mehrfaches verschärft. Die immensen Fortschritte bringen eine unermessliche Datenfülle, die nur in Großrechnern in Verbundsystemen, in riesigen Biobanken zu bewältigen sind. Sie werden das klinische Feld schier unabsehbar erweitern. Gewinnung, Dokumentation und Verwaltung der „Daten“ müssen zunehmend nationalen und internationalen juristischen Sicherheitsregelungen entsprechen. Die Ausweitung genetischer Diagnostik kann aber zu einer Biologisierung, ja Genetisierung von Krankheit führen, die die je persönliche Betroffenheit des Kranken durch sein Kranksein aus den Augen verliert. Die genetische Konstellation einschließlich der Disposition zu Krankheiten ist wohl notwendige aber nicht hinreichende Voraussetzung, insofern nicht (mono-)kausale Bedingung, sie ist Ermöglichungsgrundlage, insofern nicht determinierende Gegebenheit, sie ist nicht Krankheit. Eine molekular-genetische Krankheitsdefinition wäre ein inakzeptabler Reduktionismus.

Auch dieses 7. Bioethik-Symposium machte das Erfordernis interdisziplinärer Kooperation deutlich. So bedarf die Entwicklung gen-diagnostisch gestützter Medizin der zeitgleichen Reflexion hinsichtlich ihrer individual- und sozial-ethischen Rechtfertigung und sozialen Gerechtigkeit wie des anthropologischen Selbstverhältnisses, der *conditio humana* auch in der Spannung zwischen Perfektibilität und unaufhebbarer Kontingenz.



## **Akademie-Vorlesung im Schloss**

### **Phänomen Zeit**

- Veranstaltungstage: 16.02., 20.04., 15.06., 21.09. und 23.11.2011,  
jeweils 18.30 Uhr
- Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft,  
Kulturinstitut der Stadt Braunschweig
- Veranstaltungsort: Roter Saal, Schloss Braunschweig, Schlossplatz 1
- Moderation: Prof. Dr.Dr.h.c. Joachim Klein, Braunschweigische Wis-  
senschaftliche Gesellschaft

Unter diesem Motto laden seit Ende 2007 die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft und das Kulturinstitut der Stadt Braunschweig zu einer Vortragsreihe ein. Dabei ist es das Ziel, Themen der Wissenschaft im neuen kulturellen Zentrum Braunschweigs zu verankern.

Unter dem Leitthema „Phänomen Zeit“ wurde in diesem Jahr die Vortragsreihe im Roten Saal des Schlosses fortgesetzt.

Das Thema „Zeit“ hat in Braunschweig bekanntermaßen eine lange Tradition. Wir sind stolz darauf, dass hier die Zeit „gemacht“ wird, und dies in einer Präzision, die weltweit als führend anerkannt ist. Die Bedeutung dieser Hochleistungs-Messtechnik für viele Lebens- und Technikbereiche ist evident.

Wenn man also die Zeit mit extremer Genauigkeit messen kann – haben wir das Phänomen Zeit damit wirklich „verstanden“? Welche Bedeutung kommt der Zeit in unserem physikalischen Weltbild, in der individuell erlebten und der kollektiven menschlichen Wahrnehmung, in der Entwicklung unserer kulturellen und technischen Lebenswelt tatsächlich zu? Diesen Fragestellungen wurde – jenseits der Messtechnik selbst – aus dem Blickwinkel verschiedener Bereiche der Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaften nachgegangen.

An die Vorträge schlossen sich Diskussionen mit den Referenten an.

**Prof. Dr. Hans Jörg Fahr, Universität Bonn (16.02.2011)***„Menschliche Zeit und die Evolution kosmischer Ordnung“*

Wer über das Problem Zeit nachdenkt, kann dabei in seiner Antwort immer nur ein Zwischenergebnis zu erreichen hoffen. Was die Zeit wirklich ist, wird niemals bis zu Ende beantwortet sein. Der Gedanke an Sein und Sinn der Zeit muss eher immer weiter gedacht werden, denn er gehört förmlich zur Existenzform des menschlichen Bewusstseins. Wo aber die Existenzphilosophie vor unlösbaren Rätseln und vorläufigen Antworten stehen bleibt, da strebt man in der Physik doch immerhin eine abgeschlossene und benutzbare Begrifflichkeit der Zeit an. Die Physik will einfach nur wissen, was man mit „Zeit“ im Rahmen physikalischer Naturbeschreibungen meint. Was misst man, wenn man „Zeit“ misst? Wir schauen uns an, wie die Physik mit ihrem Begriff „Zeit“ umgeht, ohne dass die Frage nach der ontischen Basis derselben zuvor geklärt sein müsste. Und dabei wird man sich schließlich fragen, warum die Zeit in der Natur überhaupt vorkommen muss und warum die physikalische Naturbeschreibung sie als Vehikel der Darstellung nötig hat. Natur liefert Ereignisabläufe, doch jedem Einzelereignis bleibt die ihm zugeteilte Zeitmarke ganz äußerlich und irrelevant. Die Natur erzählt uns Geschichten, wie wir sie gleichsam auch in einem Buch lesen könnten. Wann wir nun aber die eine Seite oder die andere dieses Buches lesen, das bleibt für den Leseinhalt völlig unerheblich. Aufregend ist allerdings, dass die Zeit, wo immer sie als Phänomen sich manifestiert, immer ausgezeichnet mit einem Richtungssinn auftritt. Hierbei lassen sich verschiedene Zeitpfeile feststellen; – der historische Zeitpfeil, der biologische Zeitpfeil, der Zeitpfeil in unserem Bewusstsein, aber auch, eher gegenläufig dazu, der thermodynamische und der kosmische Zeitpfeil. Haben diese Zeitrichtungen etwas miteinander zu tun und können sie vielleicht vereinheitlicht werden? Wir wollen alle diese Fragen stellen, doch eines muss allerdings bei allem Fragen klar sein: Eine kurze Geschichte der Zeit kann dies nie geben!

**Prof. Dr.-Ing. Udo Peil, TU Braunschweig (20.04.2011)***„Stein und Zeit – Bauen für die Ewigkeit?“*

Spektakuläre Schadensfälle sind auf den Einfluss der Zeit zurückzuführen. Dies hat schon Berthold Brecht in seinem Gedicht *Legende von der Entstehung des Buches Taoteking auf dem Weg des Laotse in die Emigration* deutlich gemacht:

*Doch der Mann in einer heitren Regung  
Fragte noch: 'Hat er was rausgekriegt?'  
Sprach der Knabe: 'Daß das weiche Wasser in Bewegung  
Mit der Zeit den harten Stein besiegt.  
Du verstehst, das Harte unterliegt.'*

Aber nicht nur Wasser in Bewegung kann den Stein besiegen, sondern noch viele andere Einwirkungen schädigen Baumaterialien fast aller Art. Es werden unterschiedliche zeitabhängige Schädigungsprozesse kurz vorgestellt. Es stellt sich die Frage, wie man diese Prozesse rechtzeitig erkennt und ob man sie einfach hinnehmen muss, oder ob und ggf. welche Mittel zur Verfügung stehen, Schädigungsprozesse zu behindern oder gar rückläufig zu gestalten. Letzteres wird u. a. möglich durch sog. Selbstheilende Werkstoffe. Es handelt sich dabei vielfach um bioinspirierte Ansätze, bei denen wie bei der Wundheilung werkstoffintegrierte „Ausheilungsreagenzien“ freigesetzt werden. Solche selbstheilenden Materialien werden entwickelt, um die Lebensdauer von Werkstoffen in verschiedenen Anwendungen zu verbessern. Auf die neueren Entwicklungen und Möglichkeiten dieser smarten, selbstheilenden Werkstoffe wird im Folgenden eingegangen.

**Prof. Dr. Martin Korte, TU Braunschweig (15.06.2011)**

*„Zeit und andere Hirngespinnste – oder wie das Gehirn unsere Gegenwart strukturiert“*

Der Vortrag geht der Frage nach, wie unser Gehirn ein Zeiterleben erzeugt und wie wir Zeit wahrnehmen. Es wird auch der Frage nachgegangen, wie das Gehirn es schafft, Erinnerungen zeitlich zuzuordnen und welche Fehler dem edelsten aller unserer Organe hier unterlaufen könnten.

Unser Gehirn muss hierbei nicht nur Sehlöcher in der Netzhaut füllen, auch Zeitlöcher werden übersprungen oder zurückdatiert. Werden uns Wahrnehmungen überhaupt bewusst, dann auch noch mit Verspätungen von bis zu einer Sekunde. Wie kommt man zu dieser verblüffenden Erkenntnis? Zeitliches Empfinden ist eine Schöpfung des Gehirns und insofern Betrug, da man es erlebt, als ob man es erlebt hätte, bevor man es erlebt hat. Noch frappierender aber waren die Experimente, die zu unserer Entscheidungsfreiheit angestellt wurden, deren zeitliche Zuordnung sich als eine der Meisterwerke in den Schöpfungen des Gehirns erweist. Die Ausgangsfrage dieser Experimente hieß, wann wird sich eine Person bewusst, dass sie eine Bewegung ausführen will? Das Ergebnis dieser Untersuchungen war, dass Regionen im Gehirn schon 0,4 Sekunden vor einem bewussten Entschluss aktiv werden. Was bedeutet dies nicht nur für unser Zeiterleben, sondern auch für unser Erleben der Willensfreiheit?

Der Vortrag fragt aber auch, warum in Zeiten, in denen wir eigentlich mehr Zeit haben müssten als jede Generation vorher, Zeit zu einer so knappen Ressource werden konnte, ganz im Sinne eines Zitates von Robert Musil aus „Der Mann ohne Eigenschaften“: „Sie litten alle unter der Angst, keine Zeit für alles zu haben, und wussten nicht, dass Zeit haben nichts anderes heißt, als keine Zeit für alles zu haben.“

**Prof. Dr. Annette Simonis, Universität Gießen (21.09.2011)**

*„Zeiterfahrung und Zeitbilder in der Modernen Literatur“*

Zeitphänomene spielen in der modernen Literatur des 20. Jahrhunderts eine entscheidende und impulsgebende Rolle. Zum einen erfassen und reflektieren die literarischen Darstellungen eine modernetypische Beschleunigungserfahrung der Lebenswelt, die sich in rasantem Tempo aus der alteuropäischen Ruhe herauslöst. Zum anderen begegnen in sämtlichen poetischen Gattungen plötzlich vielfältige, miteinander konkurrierende Zeitbilder und Zeitmetaphern, die ein weites Spektrum von temporalen Vorstellungen eröffnen und mentalitätsgeschichtlich besonders aufschlussreich sind. Soziologen wie Georg Simmel tragen jenem Sachverhalt ebenso Rechnung wie die Autoren der Avantgarde, des Expressionismus und Futurismus um 1910. Die Relativität der Zeitwahrnehmungen sowie deren Diskontinuität oder innere Differenziertheit beschäftigen nicht allein das moderne naturwissenschaftliche Denken, sondern faszinieren ebenso intensiv die poetische Imagination und haben inzwischen eine große Fülle an hochinteressanten poetischen Zeitkonzepten hervorgebracht.

**Prof. Dr. Thomas Döring, Herzog Anton Ulrich Museum, Braunschweig (23.11.2011)**

*„Kann die Kunst die Zeit besiegen? Chronos als Thema und Trauma der Künstler“*

Der Wunsch des Standhaltens gegenüber der Zeit schwingt wohl in jedem Werk der bildenden Kunst mit – verbunden mit der Hoffnung, dass im dauerhaften Kunstwerk auch der Künstler Unsterblichkeit erlangen möge.

Wo in Renaissance und Barock die Kunst und die Künstler zum Thema der Kunst werden, spielt ein geflügelter Greis mit Sense und Stundenglas eine prominente Rolle: Chronos, die Personifikation der Zeit, mit Anklängen an den römischen Gott Saturn (griech. Kronos), der seine Kinder verschlingt.

Besondere Bedeutung erlangt die Darstellung von Chronos und der Kunst am Prager Hof von Kaiser Rudolf II. um 1600, bei Rubens und im Umkreis der Pariser Akademie. Später erlebt dieses allegorische Konzept originelle Wiedererweckungen in der graphischen Kunst des Satirikers William Hogarth und des Realisten Adolph Menzel.

Der Vortrag geht den sehr unterschiedlichen Funktionen nach, die Chronos in der Kunst zugewiesen wurden: vom blindwütigen Zerstörer des Schönen, den die Kunst ihrerseits abzuwehren oder gar niederzuringen sucht, bis zum Förderer und Enthüller, ja Erretter der Kunst vor ihren wahren Feinden – Ignoranz, Missgunst und wankelmütiges Glück.

## Öffentliche Ringvorlesung WS 2010/2011

### Vom Nutzen des Nutzlosen Vom Spiel zum Produkt

Veranstalter:	Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft, Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, Georg-August-Universität Göttingen
Veranstaltungsort:	Aula der Georg-August-Universität Göttingen, Wilhelmsplatz 1,
Veranstaltungstag:	Dienstags, 18.15 h
Verantwortliche:	Prof. Dr. Dr. h.c. Joachim Klein, Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft Prof. Dr. Norbert Elsner, Akademie der Wissenschaften zu Göttingen Prof. Dr. Jens Frahm, Akademie der Wissenschaften zu Göttingen

mit Unterstützung des Universitätsbundes Göttingen e. V.

Die Politik besitzt ein oft ambivalentes Verhältnis zur Wissenschaft. Einerseits benennt sie mit der Bildung den für unser Land wichtigsten Rohstoff, andererseits sind die öffentlichen Mittel für Bildung und Forschung begrenzt, und dies führt in der Regel dazu, dass notgedrungen nur kurzfristig aktuelle Themen mit vermeintlich hohem Innovationsgrad gefördert werden. Aber wie entstehen eigentlich Innovationen? Was braucht es, damit aus einer ersten Idee ein völlig neues Produkt wird? Kann man technische Neuerungen zielgerichtet planen und nach einem festgelegten Zeitplan verwirklichen? Mit solchen Fragen rund um das Thema Innovation befassten sich die Vorträge der öffentlichen Ringvorlesung im Wintersemester 2010/2011, zu der die Georg-August-Universität und die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, erstmals gemeinsam mit der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, in die Aula am Wilhelmsplatz eingeladen hatten.

Unter dem bewusst provokanten Titel „Vom Nutzen des Nutzlosen – Vom Spiel zum Produkt“ sollte diese Vortragsreihe das Verständnis von der Entstehung und Entwicklung naturwissenschaftlich-technischer Innovationen fördern. Die Vorlesungen waren als ein Plädoyer für eine breite, primär nicht nutzorientierte

Grundlagenforschung gedacht, da sich Innovationen kaum wie ein Produkt planen lassen. Sie entstehen oft überraschend und vielfach an den Grenzflächen unterschiedlicher Wissenschaftsgebiete, deren Verbindung nicht unmittelbar auf der Hand liegt. Deshalb bezogen sich die einzelnen Beiträge nicht nur auf aktuelle Forschungsarbeiten; sondern die historischen Entwicklungslinien von anfangs völlig zweckfreien – man könnte auch sagen: spielerischen – Erkenntnisgewinnen hin zu möglichen oder bereits verwirklichten technischen Neuerungen und Produkten wurden dargestellt. Es ging darum, die Unvorhersagbarkeit dieser Abläufe und die Schwierigkeit ihrer Planbarkeit darzulegen, um die eher langfristig und wenig zielorientiert angelegte Verzahnung von grundlegender Naturwissenschaft und anwendungsorientierter Technik als die eigentliche Quelle von Fortschritt und Innovation aufzuzeigen.

11.01.2011 **Dr. Stefan Marcinowski**, Vorstand BASF SE, Ludwigshafen, Vizepräsident der MPG

*Chemie – eine gelungene Symbiose von Wissenschaft und Industrie*

18.01.2011 **Prof. Dr. Peter Gruss**, Präsident der Max-Planck-Gesellschaft

*Wirtschaftsfaktor Wissenschaft*

25.01.2011 **Prof. Dr. Jens Frahm**, Biomedizinische NMR ForschungsGmbH

*Vom Kernspin zum Herzfilm – von der Physik zur Medizin: Die Magnetresonanztomografie im Rausch der Geschwindigkeit N.N*

01.02.2011 **Prof. Dr. Ulrike Beisiegel**, Präsidentin der Georg-August-Universität Göttingen

*Wissenschaftlicher Fortschritt: Kreativität braucht Raum und Zeit*

*Podiumsdiskussion*

**Prof. Dr. Dr. h. c. Joachim Klein**, Präsident, Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

**Dr. Wilhelm Krull**, Generalsekretär der VolkswagenStiftung, Hannover

**Prof. Dr. Gerd Litfin**, Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Verwaltungsrat LINOS AG, Göttingen

08.02.2011 **Prof. Dr. Johanna Wanka**, Niedersächsische Ministerin für Wissenschaft und Kultur, Hannover

*Wissenschaft als Erwartung des Unerwarteten*

## Vortragsreihe im phäno

### „Element Spiegel“ und „Spiel und Bewegung“

- Veranstaltungstage: 13. und 20.01.: Der Spiegel – real und virtuell  
13.10., 03.10. und 17.11.2011: Spiel und Bewegung  
Jeweils 18.30 Uhr – 19.30 Uhr
- Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft,  
Akademie der Wissenschaften zu Göttingen,  
phäno und I.P.I. Wolfsburg
- Veranstaltungsort: phäno, Wissenschaftstheater, Wolfsburg, Willy-Brandt-  
Platz 1

### Der Spiegel –real und virtuell

Spiegel gehören zu den vertrauten Gegenständen des Alltags, und doch sind sie – wenn man genau hinsieht – keinesfalls anspruchslos, zuweilen sogar „fragwürdig“. Mit einer Vielzahl neuer Objekte und Exponate widmete sich das phäno ab Oktober 2010 dem Thema im Ausstellungsbereich.

In einer begleitenden Vortragsreihe nahmen die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen und die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft diese Thematik auf und schauten auf das Objekt sowie den Begriff „Spiegel“ aus dem Blickwinkel der Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaften.

#### **Prof. Dr. Gerhard Lauer, Georg-August-Universität Göttingen (13.01.2011)**

Gerhard Lauer ist Professor für Literaturwissenschaft an der Universität Göttingen. Er forscht zu den kognitiven Voraussetzungen der Literatur und anderer Künste, zu den Strukturen, die literarische Texte von anderen Texten unterscheiden und zur entwicklungspsychologischen Bedeutung der Literatur für Kinder.

#### *Spiegel, Spiel und Literatur. Warum der Mensch Literatur hat*

Warum verlieren wir uns beim Lesen in einem Buch, obgleich es doch nur ein Buch ist, das wir in den Händen halten? Warum weinen wir um Anna Karenina, obwohl es sie gar nicht gibt? Warum hoffen wir mit Kate Winslet und Leonhardo

DiCaprio, obgleich wir wissen, dass ihre Titanic nur im Studio untergeht? Der Vortrag gab Einblicke, warum nur der Mensch in der Lage ist, durch innere Spiegelung auch nur vorgestellter Figuren und Ereignisse sein ganzes Herz an die Literatur zu verlieren, eine Fähigkeit, über die Kinder schon verfügen und vielleicht erst dadurch spielerisch zu glücklichen Menschen werden können.

**Prof. Dr. Detlev Ristau, LaserZentrum Hannover (20.01.2011)**

Detlev Ristau studierte Physik und leitet seit 1992 die Abteilung Laserkomponenten des LaserZentrums Hannover. Seine Forschungsschwerpunkte konzentrieren sich auf die optische Dünnschichttechnologie und die Charakterisierung von hochwertigen optischen Komponenten. Dieses Fachgebiet ist auch Gegenstand seiner Lehrtätigkeit an der Leibniz Universität Hannover.

*Der Spiegel: Von der mesopotamischen Bronze zur modernen Photonik*

Der Spiegel ist sicherlich das älteste optische Instrument. Seit dem Altertum wird er als wichtigster Berater des Menschen in allen Fragen der äußeren Erscheinung überaus geschätzt und ist aus dem Alltag kaum wegzudenken. Längst ist der Spiegel aber in der modernen Photonik als unverzichtbares Bauelement weit über diese Bedeutung hinaus gewachsen. So gäbe es heutzutage beispielsweise weder Lasersysteme oder CD-Recorder, hochleistungsfähige integrierte Schaltkreise und Computer ohne spezielle Spiegel mit höchster Reflexion. Auch zahlreiche prominente Experimente in der Grundlagenforschung zur Erkundung der Laserfusion, von Gravitationswellen oder der Quantenoptik sind direkt von hochwertigen Spiegeln abhängig. Der Vortrag reflektierte über eine kurze Historie und Funktionsbeschreibung hinaus einige dieser vielen faszinierenden Facetten der aktuellen Spiegel-Forschung.

## **Spiel und Bewegung**

*Spiel und Bewegung – anders gesehen*

„Spiel und Bewegung“, das war der Titel der aktuellen Sonderausstellung im phäno. An 20 Stationen lösten die Besucher spielerische Aufgaben durch körperliche Bewegung.

Spiel und Bewegung. Das sind zwei Grundbedürfnisse des Menschen und erforschte „Aktivitäten“, die in dieser die Sonderausstellung begleitenden Vortragsreihe unter völlig unterschiedlichen Perspektiven reflektiert wurden.

Gestaltet wurde diese Vortragsreihe wieder von der Göttinger Akademie der Wissenschaften und der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Experten aus den Ingenieur-, Natur- und Geisteswissenschaften haben aus ihrer



jeweils eigenen fachspezifischen Sicht das Themenpaar aufgegriffen und reflektiert und damit aus ungewohnter Perspektive zu ganz neuen Einsichten geführt.

**Prof. Dr. Manfred Krafczyk, TU Braunschweig (13.10.2011)**

*Spiel und Bewegung im virtuellen Raum*

Die Erfahrung von Spiel und Bewegung im dreidimensionalen Raum unserer Anschauung ist uns von Kindheit an vertraut. Darüber hinaus haben aber auch „Spiele“ und Bewegung von Information in der virtuellen Welt eine kaum zu überschätzende Bedeutung für unsere Erfahrung. Der Vortrag veranschaulicht, wie aus einfachen Schaltungszuständen (Bits) Informationen mit komplexer Bedeutung entstehen können und umgekehrt auf welchen z.T. spielerischen Wegen Ideen und Abstraktionen im Rechner zum Leben erweckt werden, die dann in der Summe des WWW unser Leben in vielfältigster Weise im Alltag beeinflussen.

**Prof. Dr. Ulrich Joger, Staatlich Naturhistorisches Museum Braunschweig (03.11.2011)**

*Aus der Arbeit der Urzeit-Detektive: Wie bewegten sich die Dinosaurier?*

Mehr als Knochen und versteinerte Fußabdrücke ist von ihnen nicht geblieben: die Dinosaurier starben vor ca. 65 Millionen Jahren aus. Doch sind Wissenschaftler in der Lage, nicht nur das Aussehen der Tiere, sondern auch ihre Bewegungsweise zu rekonstruieren.

Eine wichtige Rolle spielt dabei die Analyse uralter Fußspuren, die sich im Gestein erhalten haben. Sie stellen gewissermaßen Filmaufnahmen aus der Vorzeit dar. Hilfreich ist auch ein genaues Studium heutiger Tiere, um biomechanische Gesetzmäßigkeiten herauszufinden, die sich in bestimmten Eigentümlichkeiten im Bau der Knochen ausprägen.

Bei der Übertragung von Beobachtungen an heutigen auf fossile Lebewesen muss aber die wissenschaftliche Seriosität gewahrt bleiben: die Phantasie ist zu zügeln. Möglichkeiten und Grenzen der Rekonstruktion zeigte der Vortrag auf.

**Prof. Dr. Holmer Steinfath, Georg-August-Universität Göttingen (10.11.2011)**

*Bewegung bei Aristoteles*

Bewegung ist von Beginn an ein zentrales Problem der griechischen Philosophie gewesen. Es ist von Denkern wie Parmenides, Heraklit, Zenon und Platon

an der Schnittstelle von Einheit und Vielheit, Seiendem und Nichtseiendem, Unveränderlichem und Veränderlichem verortet worden. Haben die einen (wie Parmenides) die Existenz von Bewegung geleugnet, so haben sie andere (wie Heraklit) zum Urprinzip erklärt. Warum das Nachdenken über Bewegung die griechischen Philosophen der Antike so beschäftigt hat, wurde am Beispiel der Philosophie des Aristoteles erläutert. Bei Aristoteles rückt das Bewegtsein als Grundbestimmung der Natur vollends in den Mittelpunkt der philosophischen Reflexion.

**Prof. Dr. Gerhard Lauer, Georg-August-Universität Göttingen (17.11.2011)**

*Am Anfang war das Spiel*

Vor der Literatur kommt das Spielen. Wer Kindern zusieht, wird entdecken, dass ihr Spiel schon alles enthält, was auch die Literatur braucht, damit wir uns in ihr verlieren können. Es braucht Rollen wie die von Prinzessin und Bösewicht, Räume mit Hindernissen, seien es Wälder oder Meere, die zu durchqueren sind, Aufgaben, die zu erfüllen sind und Dialoge, die uns fesseln. Der Vortrag erläuterte, wie aus den Bewegungen der Kinder und ihrem Spielen die Literatur erwächst. Kafka ist nur der große Bruder der Kinder und ihres Spiels.

**Gemeinsame Akademie-Plenarsitzung der  
Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft  
und  
der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen**

**Die Vermessung der Welt –  
von der atomaren zur globalen Dimension**

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft,  
Akademie der Wissenschaften zu Göttingen,  
Georg-August-Universität Göttingen

Veranstaltungsort: Akademiesaal, Aulagebäude der Georg-August-Universi-  
tät Göttingen, Wilhelmsplatz 1,  
Freitag, 24.06.2011, 17.15 Uhr

**Ernst Otto Göbel, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig**

*„Die Vermessung der Kugel und das Kilogramm“*

**Harmen Thies, Institut für Baugeschichte, TU Braunschweig**

*„Die Bemessung der Rotonda von Palladio“*

**Jürgen Müller, Institut für Erdmessung, Universität Hannover**

*„Die Vermessung der Erde mit Satelliten“*

## Festkolloquium zur 150. Wiederkehr des Geburtstages von Robert Fricke

Veranstaltungstag: Freitag, 28. Oktober 2011, 15.00 Uhr

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft und TU  
Braunschweig

Veranstaltungsort: Neuer Senatssitzungssaal der TU Braunschweig,  
Pockelsstraße 4

Von 1894 bis 1930 war Robert Fricke (24. September 1861–18. Juli 1930) der Ordinarius für Mathematik an der Technischen Hochschule Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. Er war der Nachfolger von Richard Dedekind, und 1930 wurde Kurt Friedrichs sein Nachfolger.

Robert Fricke ist in Helmstedt geboren. Am Martino-Katharineum in Braunschweig machte er 1880 das Abitur. Er studierte Mathematik, Physik und Philosophie in Göttingen, Zürich, Berlin, Straßburg und Leipzig. Bei Felix Klein promovierte er 1885 in Leipzig. Danach war er als Lehrer im Braunschweiger Gymnasium tätig bis er beurlaubt wurde, um Privatlehrer der beiden Söhne des Herzogs von Braunschweig zu sein.

In Kiel habilitierte er sich 1892. Danach war er Privatdozent in Göttingen, wo inzwischen Felix Klein war. Mit Felix Klein arbeitete er bis zu dessen Tod 1925 zusammen. Als er 1894 die Nichte Eleonore Flender (1873–1912) heiratete, war er sogar mit Felix Klein verwandt. Als zweite Ehefrau heiratete er 1925 Emilie Lämmerhirt (1877–1952).

Zweimal, 1904/1906 und 1921/1923, war Robert Fricke Rektor der TH Braunschweig. Im Jahre 1920 war er Präsident der Deutschen Mathematiker-Vereinigung.

Robert Fricke war Mitherausgeber der Gesammelten Werke sowohl von Richard Dedekind als auch von Felix Klein.

Mit einer Festrede würdigte er 1927 bei der Gauß-Feier am 30.04. im Braunschweiger Schloss die beiden Braunschweiger Mathematiker Carl Friedrich Gauß und Richard Dedekind.

- 15.00 Uhr **Grußworte**  
Präsidium, TU Braunschweig  
Prof. Dr. Dr.h.c. Joachim Klein  
Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft  
Prof. Dr. Reinhold Haux  
Dekan Carl-Friedrich-Gauß-Fakultät der TU Braunschweig
- 15.45 Uhr Dr. Clemens Adelman, TU Braunschweig  
*„Zum Leben und Werk von Robert Fricke“*
- 16.45 Uhr Prof. Dr. Jürgen Elstrodt, Universität Münster  
*„Frickes Werke über elliptische Funktionen“*

Der Springer-Verlag präsentierte von Robert Fricke „Die elliptischen Funktionen und ihre Anwendungen“, Bände 1 und 2 als Nachdruck und Band 3 nach dem Manuskript aus dem Nachlass als Neuerscheinung.

## **Verleihung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen am 06.12.2011**

Die „Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen“ wurde 1996 von einer der TU Braunschweig eng verbundenen Braunschweiger Bürgerin ins Leben gerufen.

Zweck der Stiftung ist die Förderung besonders begabter Studierender der TU Braunschweig. Ihnen wird der Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen (zum Beispiel exzellente schriftliche Ausarbeitungen auf hohem wissenschaftlichen Niveau) oder auch für besondere mit herausragendem Engagement und Ideenreichtum betriebene Aktivitäten verliehen.

Die Stiftung unterstützt darüber hinaus bedürftige Studierende der Universität durch finanzielle Hilfen.

Veranstalter: Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen  
Braunschweigisches Landesmuseum  
Technische Universität Braunschweig  
Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Ort: Braunschweigisches Landesmuseum, Burgplatz 1

### **Programm**

#### *Begrüßung:*

Dr. Heike Pöppelmann, Direktorin des Braunschweigischen Landesmuseums

#### *Preisverleihung und Vorstellung der Preisträger:*

Thomas Heinisch, Vorstandsvorsitzender der Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis  
Prof. Dr. Jürgen Hesselbach, Präsident der TU Braunschweig

#### *Gratulation:*

Prof. Dr.Dr.h.c. Joachim Klein, Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

*Festvortrag:*

Prof. Dr. Dirk Heinz, Wissenschaftlicher Geschäftsführer des Helmholtz Zentrums für Infektionsforschung, Braunschweig

*„Seeing is Believing – Wie kann die Strukturbiologie zur Infektionsforschung beitragen?“*





## Plenarversammlungen

### Carl Friedrich Gauß und seine Beschäftigung mit der russischen Sprache\*

WERNER LEHFELDT

Georg-August-Universität, Seminar für Slavische Philologie  
Humboldtallee 19, D-37073 Göttingen

Hören oder lesen wir den Namen Carl Friedrich Gauß, so denken wir zuallererst an den schon zu Lebzeiten so genannten „princeps mathematicorum“, einen der bedeutendsten Mathematiker aller Zeiten, dessen Namen in einer Reihe steht mit denjenigen von Euklid, Newton und Euler. Wir denken an den großen Astronomen, den Wiederentdecker der Ceres, den Autor der „Theoria motus corporum coelestium“, wir denken an den bedeutenden Erforscher des Erdmagnetismus, an den – zusammen mit Wilhelm Weber – Miterfinder des elektrischen Telegraphen. Ich bin überzeugt, daß niemand in diesem Saal – abgesehen von mir, der ich dies selbst aber auch erst seit kurzem weiß – bei dem Namen Carl Friedrich Gauß an einen Forscher denken wird, der in der Russistik, der Wissenschaft von der russischen Sprache, als erster einen Weg beschritten hat, dessen Bedeutung für diese Disziplin erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erkannt, d.h. wiedererkannt worden ist und auf dem die Russistik seitdem zu bedeutenden Werken und Einsichten gelangt ist.

Immerhin war schon einigen Zeitgenossen des „princeps mathematicorum“ bewußt, daß mit den Stichworten Mathematik, Astronomie, Erdmagnetismus, elektrischer Telegraph bei weitem nicht alle Koordinaten des Raums benannt sind, in dem sich der Geist Carl Friedrich Gauß' bewegte. Wolfgang Sartorius von Waltershausen, ein enger Vertrauter von Gauß und dessen erster Biograph, schrieb 1856 über seinen Protagonisten, es sei „wohl außerhalb der Mathematik das Talent hervorzuheben, welches Gauß für die Erlernung der verschiedensten Sprachen zeigte. Mit den alten war er von Jugend auf vertraut, aber auch fast alle anderen europäischen Sprachen verstand er so weit um sie zu lesen, die hauptsächlichsten derselben sprach und schrieb er vollkommen correct“.

Es ist ferner bekannt, daß Gauß zu Beginn seines im Herbst 1795 aufgenommenen Studiums in Göttingen bei Christian Gottlob Heyne Vorlesungen über Klas-

---

\* Der Vortrag wurde am 22.01.2011 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

sische Philologie hörte und eine Zeitlang schwankend war, ob er sich für das Studium der Alten Sprachen oder für das der Mathematik entscheiden sollte. Obgleich bereits im Frühjahr 1796 die Entdeckung der Konstruierbarkeit des regelmäßigen 17-Ecks mit Zirkel und Lineal den Ausschlag dafür gab, daß nunmehr die Entscheidung endgültig zugunsten der Mathematik getroffen wurde, hat Gauß sein Leben lang nicht aufgehört, sich mit sprachlichen und philologischen Problemen zu beschäftigen. Das wohl eindrucksvollste Zeugnis für dieses anhaltende Interesse findet man in dem umfangreichen, über Jahrzehnte hinweg geführten Briefwechsel zwischen Gauß und dem Altonaer Astronomen Heinrich Christian Schumacher, in dem man immer wieder auf Erörterungen von Feinheiten der lateinischen, der englischen und der französischen Sprache stößt, Erörterungen, die belegen, in welchem hohem Maße es Gauß darum zu tun war, die von ihm gelesenen Texte in diesen Sprachen so genau wie möglich zu verstehen bzw. sich in ihnen selbst so exakt wie nur möglich auszudrücken.

Was Gauß' Kenntnis der griechischen und der lateinischen Sprache sowie der antiken Literatur betrifft, so birgt die in der Göttinger SUB aufbewahrte Bibliothek des Gelehrten reiches Material für ein vertiefendes Studium dieses Problems, zahlreiche Grammatiken und Klassikerausgaben mit ungezählten, teilweise umfangreichen Kommentaren und Bemerkungen von Gauß' Hand. Nach meiner Kenntnis harret dieses Material noch eines Forschers.

Im Englischen und im Französischen scheint Gauß absolut sattelfest gewesen zu sein, wenn man an seine in diesen Sprachen geführte wissenschaftliche Korrespondenz und an seine Beschäftigung mit der englischen und der französischen Literatur denkt. Ich erwähne hier nur Sir Walter Scott, den Gauß verehrte und aus dessen Werken er seinem Sohn Joseph vorlas, wenn Vater und Sohn bei der Triangulation des Königreichs Hannover bei regnerischem Wetter in einer Harzer Baude Zuflucht gesucht hatten.

Über eine allfällige Beschäftigung von Gauß mit der russischen Sprache ist aus den ersten sechs Lebensjahrzehnten des Gelehrten nichts bekannt, und es hat eine solche Beschäftigung in dieser Periode auch nicht gegeben. Tatsächlich bedurfte es einer allerhöchsten Initiative, um Gauß erst zum Erlernen und dann gar zum Studium des Russischen zu veranlassen, der Sprache des Landes, mit dem er seit dem Beginn seiner wissenschaftlichen Laufbahn durch vielfältige persönliche und institutionelle Beziehungen eng verbunden war.

In der Geschichtsschreibung unseres Bundeslandes kommt König Ernst August nicht besonders gut weg, war seine Regentschaft doch überschattet von dem, was er gleich zu Beginn seiner Herrschaft getan hatte, nämlich von der Aufhebung der dem Königreich Hannover von seinem Bruder König Wilhelm IV. gewährten Verfassung. Als Russist grüße ich jedoch Seine Majestät stets mit Gefühlen einer etwas verschämten Dankbarkeit, wenn ich vor dem Hannoveraner Hauptbahnhof an seinem Reiterdenkmal vorbeikomme. Denn hätte König

Ernst August nicht die Verfassung aufgehoben, dann wäre es nicht zu dem Protest der Göttinger Sieben gegen einen solchen Schritt gekommen, und dann stünde ich heute vermutlich nicht an diesem Pult, um zu Ihnen über das Thema „Carl Friedrich Gauß und die russische Sprache“ zu sprechen.

Der Kausalnexus zwischen Ernst Augusts Eingriff in das Staatsrecht Hannovers und Gauß' Hinwendung zum Erlernen der russischen Sprache verläuft über ein vermittelndes Zwischenglied. Dieses Zwischenglied war Gauß' Kollege, Mitarbeiter und Freund Wilhelm Weber. Zusammen mit Weber hatte Gauß Göttingen zum Zentrum der weltweit organisierten Erforschung des Erdmagnetismus gemacht. Weber gehörte 1837 zu den Göttinger Sieben und wurde daher zusammen mit Dahlmann, den beiden Grimms, Gervinus, Ewald und Albrecht seines Amtes als Universitätsprofessor enthoben und mußte Göttingen verlassen. Damit fand Gauß' physikalische Schaffensperiode wenngleich nicht ihr Ende, so doch eine einschneidende Abschwächung, denn dieses Schaffen hatte ganz wesentlich auf der Zusammenarbeit mit Wilhelm Weber beruht. Gewissermaßen kompensatorisch dazu erfuhren die sprachlichen Interessen des „princeps mathematicorum“ eine Belebung, und diese Belebung äußerte sich in der Weise, daß sich Gauß zu Beginn seines siebten Lebensjahrzehnts dazu entschloß, die russische Sprache zu erlernen.

Soweit bekannt, findet sich der erste Hinweis auf Gauß' Beschäftigung mit dem Russischen im Postscriptum eines an seinen Vertrauten, den Altonaer Astronomen Heinrich Christian Schumacher gerichteten Briefes vom 17. August 1839: „Im Anfange des vorigen Frühjahrs hatte ich, Aneignung irgend einer neuen Fertigkeit als eine Art Verjüngung betrachtend, angefangen, mich mit der russischen Sprache zu beschäftigen (ich hatte früher es einmal mit dem Sanskrit versucht, dem ich aber gar keinen Geschmack abgewinnen konnte), und fand schon viel Interesse daran“. Durch den Wunsch der Regierung in Hannover, Gauß möge die Regulierung von Maß und Gewicht beschleunigt abschließen, sei diese Beschäftigung jedoch unterbrochen worden, „so dass ich das Wenige, was ich gelernt, wol jetzt grossentheils wieder vergessen haben werde. Demungeachtet denke ich künftig einmahl wieder anzufangen“. Aus dieser Bemerkung wird deutlich, daß Gauß sich nicht primär deshalb dem Studium des Russischen zuwandte, um russischsprachige wissenschaftliche Arbeiten lesen zu können. Dennoch sollte er die einmal erworbenen Russischkenntnisse auch zu diesem Zweck einsetzen, wovon noch im einzelnen die Rede sein wird.

Schumacher, den Gauß in dem erwähnten Brief um Hilfe bei der Beschaffung russischer Bücher gebeten hatte, reagierte umgehend und sandte seinem „theuersten Freund“ am 22. August 1839 einen „russischen astronomischen Kalender“, weil ihm schien, daß „einem Astronomen auch ein astronomischer Kalender gute Dienste leisten“ müsse beim Erlernen fremder Sprachen. Auf seine in demselben Brief vorsichtig geäußerte Anregung, Gauß möge zum Zwecke der

Zerstreuung vielleicht „vortheilhafter das Schachspiel“ wählen, erhielt Schumacher am 8. September 1839 aus Göttingen folgende Antwort: „Das Schachspiel ist mir keineswegs fremd, sondern in frühern Zeiten sehr familiär gewesen. Es ist aber meinen sonstigen Beschäftigungen zu sehr analog um als eine Erholung betrachtet werden zu können, dazu ist etwas von jenen Heterogener nöthig“.

Ganz ähnlich wie gegenüber Schumacher wird sich Gauß um die gleiche Zeit gegenüber dem Petersburger Physikprofessor und Direktor des magnetischen Observatoriums der Petersburger Akademie, Adolf Theodor Kupffer, geäußert haben, der ihm im Juli und August in Göttingen einen Besuch abstattete und der seinem Petersburger Vorgesetzten, dem General Čevkin, am 1. September 1839 einen Bericht über diesen Besuch zukommen ließ. Dort äußert sich Kupffer voller Erstaunen und ausführlich über Gauß' Beschäftigung mit der russischen Sprache und der russischen Literatur, worin er „un bon augure pour la littérature russe“ erkennt, denn „il est vrai que le génie pressent l'avenir“. Kupffer ließ es sich auch angelegen sein, Gauß von St. Petersburg aus ein zweibändiges russisch-französisches Wörterbuch als Geschenk zukommen zu lassen, welches Werk dann auch tatsächlich für Gauß' Russischstudium wichtig werden sollte.

Einige Jahre später sollte Gauß einem weiteren Gast gegenüber, der aus Rußland zu ihm gereist war, ein anderes Motiv nennen, das ihn bewogen habe, die russische Sprache zu erlernen. Zu Otto Struve, dem Sohn des Astronomen Wilhelm Struve, sagte er im Jahre 1844, er habe diese Sprache „zunächst nach überstandener schwerer Krankheit, zu studieren angefangen“. Bereits 1842 hatte er dem russischen Astronomen I. M. Simonov gegenüber nach dessen Zeugnis erklärt, daß sein Wunsch, russische Werke im Original zu lesen, eine Folge des Wunsches gewesen sei, sein sechzigjähriges Gedächtnis zu erproben.

Diese Äußerungen stimmen mit dem überein, was W. Sartorius von Waltershausen über die Motive berichtet, die Gauß veranlaßt hätten, sich der Erlernung des Russischen zuzuwenden: „Schon in seinem vorgerücktern Alter, etwa in seinem 62<sup>sten</sup> Jahre glaubte er neben seinen regelmäßig fortlaufenden Studien in der Mathematik auf ein neues Mittel Bedacht nehmen zu müssen, um seinen Geist frisch lebendig und für neue Eindrücke empfänglich zu erhalten; [ ... ], dann aber begann er mit unglaublicher Energie die Russische Sprache zu erlernen“.

In den Monaten, die auf die gegenüber Schumacher und Kupffer getanen Äußerungen folgten, muß Gauß recht intensiv dem Studium des Russischen obgelegen haben. Dies dürfen wir aus mehreren schriftlichen Bekundungen des Gelehrten schließen. Am 8. August 1840 bedankte er sich bei Schumacher für die Übersendung der Beschreibung der Kasaner Sternwarte und fügte diesem Dank folgende Bemerkung an: „Mit meinem Russischen bin ich so weit, dass ich mit einem Wörterbuche, ohne übermässig vieles Aufschlagen, dergleichen wohl verstehen

kann. Kupffer's Rukowodstwo (Anleitung magnetische und meteorologische Beobachtungen zu machen) lese ich mit einer gewissen Fertigkeit, so dass ich für Eine Seite zuweilen kaum ein halb Dutzend mahl das Wörterbuch zu befragen habe“. Ganz ähnlich äußerte sich Gauß wenige Tage später in einem Brief an Adolph Theodor Kupffer selbst, den Verfasser der besagten „Anleitung“. Am 13. August 1840 schrieb er ihm: „Mit dem Russischen schreite ich wenn auch langsam, doch immer etwas fort, und nehme an dieser reichen und bildsamen Sprache recht viel Interesse. Ihr руководство lese ich mit einiger Fertigkeit, und mit vielem Vergnügen“. Wir erkennen aus diesen Äußerungen, daß Gauß von Anfang an das Russische nicht nur zum Zwecke der Erholung betrieben hat, sondern auch, um wissenschaftliche Literatur in dieser Sprache lesen zu können. Dennoch stand der Wunsch nach etwas seinen sonstigen Beschäftigungen Heterogenerem weiterhin im Vordergrund, wenngleich hier größere Schwierigkeiten auf den Autodidakten warteten. Letzteres bezeugt der schon erwähnte Brief von Gauß an Schumacher vom 8. August 1840: „Mit Dichtern geht es schwerer. Ich besitze drei Bände von Puschkin's Werken, wo ich aber immer mehr unbekannte Wörter als bekannte finde, und also nur sehr langsam etwas lesen kann. Sein Boris Godunow spricht mich sehr an. Lieber wäre es mir aber prosaische Unterhaltungslectüre zu besitzen, z.B. Russische Originalromane oder auch Uebersetzungen, z.B. von Walter Scott“. Schumacher versäumte es nicht, Gauß' Bitte zu erfüllen, er möge „demnächst derartiges aus Petersburg mir einiges mitbringen wollen“. Am 7. Oktober 1840, „nach einer langen (6 Tage) und stürmischen Seefahrt aus Petersburg zurückgekommen“, meldete er nach Göttingen: „Ihre Commission in Bezug auf gute Russische Romane hat Schubert besorgt. Er hat für Sie Bestúscheff's Werke gekauft, die zu den besten prosaischen Schriften gehören, und das Russische Volksleben treu darstellen“. Von sich aus fügte Schumacher der angekündigten Büchersendung „noch Gretsche's grosse Russische Grammatik (französisch geschrieben) hinzu, die nach dem einstimmigen Urtheil in Petersburg das Beste seyn soll, was über Russische Grammatik existiert“. Der Verfasser hat sie mir geschenkt, sie ist aber in Ihren Händen besser als bei mir, wo sie nie gebraucht werden würde“.

Tatsächlich spricht alles dafür, daß Gauß sämtliche sechs Bände der 1828 erschienenen Ausgabe der Werke des Puschkin-Zeitgenossen Aleksandr Aleksandrovič Bestužev-Marlinskij (1797–1837) unter Zuhilfenahme von N. Grečs „Grammaire raisonnée de la langue russe“ (Gretsch 1837) und von Ch. Ph. Reiff's russisch-französischem Wörterbuch (Reiff 1835–36) – Gauß bezeichnet letzteres in einem Brief an A.T. Kupffer vom 18. Februar 1840 als „ein höchst vortreffliches Beförderungsmittel“ – intensiv durchgelesen hat; denn alle diese Bände weisen vielfältige Gebrauchsspuren von Gauß' Hand auf, die uns einen Einblick in die Art von Gauß' Russischlektüre gewähren. Wir finden hier Anmerkungen grammatikalischer Art, nicht selten mit Verweisen auf die entsprechenden Paragraphen der Grammatik von N. Greč, Anmerkungen zur Bedeutung von Lexemen,

ungezählte Druckfehlerberichtigungen und an zwei Stellen sogar sachliche Korrekturen – dies alles zusammen ein eindruckliches Zeugnis der Sorgfalt, mit der Gauß russische Schriften gelesen hat. Wir finden hier bestätigt, was der russische Astronom I.M. Simonov, der Gauß 1842 besucht hat, über den Gebrauch berichtet, den der große Gelehrte von der Kenntnis der russischen Sprache gemacht habe. Simonov schreibt, daß Gauß „es bis zum Verständnis von Dichtern und Schriftstellern brachte. Beim Lesen russischer Bücher studierte er die in ihnen vorkommenden Ausdrücke bis zur letzten Feinheit“.

Selbstverständlich hat Gauß auch russischsprachige mathematische Literatur gelesen. Besonders zu beachten ist hierbei sein Studium von Schriften des Kasaner Mathematikers N.I. Lobačevskij, der unabhängig von ihm die nichteuclidische, die so genannte „Imaginäre Geometrie“ entwickelt hatte. Auf dieses Thema kann ich hier aber aus Zeitmangel nur andeutungsweise eingehen. In der Göttinger Gauß-Bibliothek finden sich sehr viele Abhandlungen aus der Feder von N.I. Lobačevskij, von denen zumindest einige der Verfasser selbst nach Göttingen geschickt hat. Besonders interessant ist dabei folgende Beobachtung: N.I. Lobačevskij hatte seine ersten Arbeiten zur „Imaginären Geometrie“ Ende der zwanziger/Anfang der dreißiger Jahre in der Zeitschrift „Казанскій Вѣстникъ“ veröffentlicht. Gauß war daran interessiert, diese Arbeiten zu studieren. Schon 1841 schrieb er an Johann Franz Encke, er sei „recht begierig geworden, mehr von diesem scharfsinnigen Mathematiker zu lesen“. Es muß ihm aber Schwierigkeiten bereitet haben, an die Arbeiten von Lobačevskij zu kommen. In einem an Gerling gerichteten Brief vom 8. Februar 1844 heißt es, daß „in Deutschland schwerlich ein Exemplar des Kasanschen Boten von 1828.1829 zu finden sein möchte“. Irgendwie gelang es ihm dann aber doch, einige Nummern des „Казанскій Вѣстникъ“ in die Hände zu bekommen. Allerdings fehlen hier die ersten Teile von Lobačevskijs Abhandlung, möglicherweise hat der Verfasser fünfzehn Jahre nach ihrem Erscheinen von ihnen keine Druckexemplare mehr besessen. Die dadurch entstandene Lücke wird aber durch eine im Gauß-Nachlaß vorhandene zwanzig Seiten umfassende russischsprachige Handschrift geschlossen, die eben diese ersten Teile umfaßt. Zusammen mit den gedruckten Texten ergeben sie den gesamten Text von Lobačevskijs Abhandlung „Über die Anfangsgründe der Geometrie“. Aus einer Fußnote auf der ersten Seite geht hervor, dass Lobačevskij selbst die Anfertigung dieser Handschrift hat besorgen lassen. Offenbar hatte er von Gauß' Interesse an dieser Arbeit erfahren. Gauß hatte also Gelegenheit, Lobačevskijs „Anfangsgründe“ im russischen Original zu studieren. Es ist bekannt, dass Gauß Lobačevskij, der die nichteuclidische Geometrie „auf eine meisterhafte Art in ächt geometrischem Geiste“ entwickelt habe, hoch geschätzt und für die Aufnahme des russischen Gelehrten in die Königliche Societät der Wissenschaften gesorgt hat.

Wenn wir danach fragen, wie Gauß die russische Sprache erlernt hat, so ist zunächst festzuhalten, daß er auch hier wie auf so vielen anderen Gebieten

Autodidakt gewesen ist, daß er also ohne Lehrer ausgekommen ist. Das bezeugt schon W. Sartorius von Waltershausen: „Es dauerte kaum zwei Jahre, dass er ohne alle fremde Hülfe dieselbe so vollständig in seine Gewalt bekam, [ ... ]“. Ferner besitzen wir darüber ein Zeugnis in einem Bericht von Otto Struve, dem Sohn Wilhelm Struves, des Leiters der in der Nähe von St. Petersburg gelegenen Sternwarte von Pulkovo. Otto Struve, der des Russischen natürlich kundig war, besuchte Gauß – nach einer ersten Begegnung zusammen mit seinem Vater im September 1838 – im Spätsommer des Jahres 1844. In seinen „Erinnerungen“ heißt es über diesen Besuch u.a.: „Damals interessirte er sich besonders für die Russische Sprache, welche er, wie er sagte, zunächst zur Prüfung seiner geistigen Capacität nach überstandener schwerer Krankheit zu studieren angefangen hatte, und zwar ohne einen Lehrer und nur nach Büchern. Das Lesen Russischer Bücher hatte er in der That sehr befriedigend erreicht, aber wenn er russisch zu sprechen oder auch nur laut zu lesen versuchte, machte das in der That einen sehr komischen Eindruck“. Dieses Urtheil widerstreitet dem, was Sartorius von Waltershausen, Gauß' erster Biograph, über dessen russische Aussprache schreibt: „Eines Tages als er von einem Russischen Staatsrath besucht wurde unterhielt er sich mit diesem auf Russisch und zwar nach jenes Urtheil in vollkommen richtiger Aussprache“. Schon K.-R. Biermann hat Zweifel an der Richtigkeit dieser Einschätzungen geäußert.

Gauß' Autodidaktentum vorausgesetzt, stellt sich die Frage, welche Lehrwerke, Grammatiken und Wörterbücher der Gelehrte benutzt und wie er sich dieser Hilfsmittel bedient hat. Dieser Frage bin ich selbstverständlich nachgegangen, und ich habe die Ergebnisse meiner Untersuchung in einer Abhandlung „Carl Friedrich Gauß und die russische Sprache“ detailliert dargelegt. An dieser Stelle muß ich mich aus Zeitgründen mit einem Verweis auf diese Abhandlung begnügen. Nur ein Hinweis sei mir noch gestattet.

Ganz zu Anfang habe ich gesagt, Gauß habe beim Studium der russischen Sprache als erster einen Weg eingeschlagen, dessen Bedeutung für die Russistik erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wiedererkannt worden ist. Worum geht es?

Es handelt sich darum, daß Gauß in äußerst sorgfältiger Arbeit umfangreiche Listen russischer Substantive, Adjektive und Verben in rückläufiger alphabetischer Anordnung erstellt hat. In unserer Zeit spielen so genannte rückläufige Wörterbücher des Russischen für die Erforschung der Morphologie, insbesondere der Flexionsmorphologie dieser Sprache eine wichtige Rolle, weil die Flexionsanzeiger in dieser Sprache wie in flektierenden Sprachen allgemein dem Wortstamm von hinten angefügt werden. Die ersten gedruckten rückläufigen Wörterbücher bzw. Wörterverzeichnisse von indogermanischen Sprachen wurden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erarbeitet. Das erste und für lange Zeit einzige rückläufige Wörterbuch zu einer modernen Sprache, und

zwar eben dem Russischen, stammt von dem Klassischen Philologen Ludwig Däubner. Es wurde 1915 von dem Armeeoberkommando Ost veröffentlicht und sollte militärischen Zwecken dienen, nämlich der Entzifferung nur verstümmelt aufgefangener russischer Funksprüche. Es ist also höchst bemerkenswert, dass Gauß offenbar als erster „auf den Gedanken gekommen ist, die Einbahnstraße des Wortverständnisses in umgekehrter Richtung zu beschreiten“ (D. Gerhardt), früher jedenfalls als irgendein professioneller Sprachwissenschaftler.

Bibliographischer Hinweis: Die in dem Vortragstext angeführten Zitate werden nachgewiesen in meiner Abhandlung „Carl Friedrich Gauß und die russische Sprache“, in: Studien zur Wissenschafts- und zur Religionsgeschichte. Herausgegeben von der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, Neue Folge, Band 10, Sammelband 2, Berlin/New York 2011, S. 275–376.



## Schlußwort zur Neujahrssitzung der BWG am 22. Januar 2011

CLAUS-ARTUR SCHEIER

Wir denken global, meine sehr verehrten Damen und Herren, wir fühlen regional. So erst fühlen und denken wir integral. Gauß verehrten wir auch, wäre er anderswo geboren, aber es fehlte doch jene imponderable Verbundenheit, die in der scheinbaren Floskel von „unserm“ Gauß mitklingt. Für seine Bachelors und Masters hat die Münchner Universität Departments, und angenommen, das seinerseits um globale Anschlußfähigkeit bemühte Österreich ersetzte seinen Dokortitel durch den PhD – würde der Wiener Ober ein „Nehmans bittschön Blatz, Herr Biäidschdie...“ über die Lippen bringen? Die Preisgabe des Regionalen ist das Provinzielle – das sollte jede Region bedenken.

Der Vortrag von Herrn Lehfeldt, für den wir ihm wärmstens danken, hat uns auf erinnernswerte Weise dargetan, wie integral Gauß fühlte und dachte. Das war anders als für die auch nur etwas Älteren schon nicht mehr selbstverständlich. Gauß ist 1777 geboren, und der siebzehn Jahre jüngere Wilhelm Müller sprach das noch junge Weltgefühl aus in den Anfangsversen seiner „Winterreise“, die Schubert in Musik gesetzt hat:

Fremd bin ich eingezogen,  
Fremd zieh' ich wieder aus.

Denn die Moderne, in der wir leben, ist verglichen mit den älteren Denkzeiten Europas die Epoche des Anderen, und die Globalisierung hat zweifellos die unabdingbare Seite der Befremdung, auch der Fremdheit der Sprachen, ihres je und je Idiomatischen. Daß uns das Regionale so kostbar geworden ist liegt daran, daß der Mensch mit der industriellen Moderne und der ihr eigentümlichen Produktionsform herausgetreten ist aus dem Naturzusammenhang, in dem er zuvor, und noch im 18. Jahrhundert zu Hause war. Soeben noch das *animal rationale*, das „vernünftige Sinnenwesen“, jetzt mit Nietzsche „das noch nicht festgestellte Thier“; soeben noch hatte Kant alles Recht zu behaupten, der (euklidische) Raum sei die Form der äußeren Anschauung *a priori*, jetzt muß ein Mathematiker zu seiner eignen tiefen Beunruhigung entdecken, daß er dem Parallelenaxiom mißtraut. Gauß publiziert nichts darüber, beginnt aber Russisch zu lernen, als er von Lobatschewskis Publikation hört.

Der König von Hannover nannte Gauß den *Mathematicorum Princeps*, den Ersten in den strengen Wissenschaften. Der unbekannte Kenner, der dem König diesen Titel in die Feder diktiert haben wird, wird auch gewußt haben – Historismus hieß der Denkstil der Zeit –, daß Gauß nicht nur in sachlicher, sondern ebenso in geschichtlicher Hinsicht ein Erster war, kraft seiner Entdeckungen, Einsichten und Vermutungen herausgetreten aus der wissenschaftlichen Domäne des alten Europa mit ihrem Horizont der *ratio naturalis*, der „natürlichen Vernunft“, in die noch nicht festgestellten Regionen der Moderne. Das klassische Denken stand und fiel – war schon gefallen mit der anschaulichen Evidenz des Parallelenaxioms. Aber gerade Gauß’ zuvorkommend-zurückhaltende Befremdung bezeichnet einen neuen geschichtlichen Anfang und kennzeichnet eine neue, bisher unerhörte und fortwährende Produktivität in Wissenschaft und Technik.

Es stimmt uns zuversichtlich, Gauß’ Erben zu sein, global wie regional. In diesem Sinn wünsche ich uns allen ein frohes 2011 und darf Sie jetzt ganz regional zu anregendem Gespräch in die freundlichen Räume unsrer Wissenschaftlichen Gesellschaft bitten.

## **Untersuchung historischer Münzen und Prägestempel – welche neuen Informationen liefern uns naturwissenschaftliche Untersuchungen?\***

CARLA VOGT

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Inst. für Anorganische Chemie  
Callinstraße 9, D-30167 Hannover

Die Fortentwicklung moderner naturwissenschaftlicher Analysenverfahren ermöglicht es uns heute eine Vielzahl spannender Fragen zur Herkunft und Herstellung von Artefakten zu beantworten und damit dem Historiker Hilfestellung bei der Einordnung historischer Ereignisse und technologischer Entwicklungen zu geben.

Ungebrochenes Interesse genießen dabei nach wie vor Gold- und Silberobjekte, die seit mehreren Jahrtausenden hergestellt werden und beispielsweise als Zahlungsmittel in Form von Münzen und Barren oft wertvolle historische Dokumente der jeweiligen zeitlichen Epoche darstellen. Historiker interessieren hier vor allem Fragen nach der Zusammensetzung des Materials, der Herkunft der Erze, ihrer technologischen Verarbeitung bis zum Endprodukt und der Echtheit der Objekte. Für die Präsentation und Restaurierung in Museen spielen auch Schädigungsgrad und Schädigungsursachen bei derartigen Objekten eine wesentliche Rolle sowie daraus ableitbare Informationen zur Eignung bestimmter Restaurierungsverfahren.

Vor allem mit röntgenspektroskopischen und massenspektrometrischen Verfahren lassen sich viele dieser Fragen beantworten. Auch die Elektronenmikroskopie kann wertvolle Informationen liefern. Die Röntgenfluoreszenzanalyse wird dabei zur Bestimmung der Haupt- und Nebenbestandteile der Legierungen verwendet. Spezielle Optiken erlauben es diese Zusammensetzung auch mit hoher Auflösung im Bereich weniger Mikrometer Probenoberfläche zu bestimmen und somit Informationen über Homogenität oder Inhomogenität des Materials zu gewinnen. Daraus lassen sich erste Schlussfolgerungen zu den verwen-

---

\* Kurzfassung des am 11.03.2011 in der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

deten Materialien und Technologien und damit dem Zeitfenster der Herstellung ziehen. Mittels Elektronenmikroskopie werden dank mehrtausendfacher Vergrößerung Details an der Oberfläche der Objekte sichtbar gemacht, die ebenfalls technologische Informationen tragen, Hinweise auf nachträgliche Manipulationen am Untersuchungsobjekt liefern oder das Ausmaß von Schädigungen sichtbar machen. Besonders informationsreich ist aber die Massenspektrometrie für die Elementanalytik. Hierbei wird entweder ein sehr kleiner Teil der Probe in gelöster Form in einem Plasma verdampft, ionisiert und anschließend in einem Massenspektrometer analysiert oder ein Laser wird eingesetzt, um vor der massenspektrometrischen Analyse wenige Mikrogramm Probe direkt aus der festen Probenoberfläche zu verdampfen. Mit diesen Verfahren lassen sich die meisten Elemente des Periodensystems in extrem geringer Konzentration nachweisen, beim Arbeiten mit dem Laser auch nahezu zerstörungsfrei. Die damit ermittelten Elementfingerprintmuster können genutzt werden, um die Herkunft der verwendeten Rohmaterialien näher zu bestimmen, technologische Informationen zu gewinnen oder Fälschungen zu identifizieren. Auch Isotopenverhältnisse können so ermittelt und gezielt zur Provenienzanalyse der Objekte eingesetzt werden. Die insgesamt großen anfallenden Datenmengen werden heute in der Regel auch mit chemometrischen Verfahren, wie PCA- und Clusteranalyse sortiert, um Probenklassifizierungen zu erleichtern.

Zu den Ergebnissen aus aktuellen Projekten zählen beispielsweise die Unterscheidung technologisch unterschiedlichen Verfahren zur Herstellung mittelalterlicher Silberbarren, der Nachweis für massive Verwendung Harzer Erze in der mittelalterlichen Silberverarbeitung, die klare Trennung der im Mittelalter parallel existierenden monetären Systeme Barren und Münze sowie die Möglichkeit zur Unterscheidung verschiedener Erzlagerstätten eines Berges über hoch präzise Isotopenverhältnismessungen.

## **Neue Herausforderungen für die Abwasserreinigung und den Gewässerschutz\***

KARL-HEINZ ROSENWINKEL & CORINNA LOREY

ISAH, Leibniz Universität Hannover  
Welfengarten 1, D-30167 Hannover

Der Schutz der Gewässer hat in Deutschland traditionell einen hohen Stellenwert, er dient u.a. zur Erhaltung der Lebensqualität, dem Schutz der Trinkwasserressourcen und der Nahrungskette. Zu schützen sind die Gewässer vor diffusen und punktförmigen Stoffeinträgen und vor nachteiligen Veränderungen der Gewässermorphologie. Die Siedlungswasserwirtschaft hat sich bisher vorwiegend mit der Reduzierung der punktförmigen Stoffeinträge aus Kläranlagenabläufen und Regenentlastungen in die Gewässer beschäftigt.

Der Anschlussgrad der Bevölkerung an zentrale öffentliche Kläranlagen beträgt heute über 95%, es werden jährlich ca. 10,5 Mrd. m<sup>3</sup> Abwasser in 10.200 Kläranlagen mit einem Gesamtanschlussgrad von ca. 148 Mio. Einwohnergleichwerten behandelt (DWA 2008). Erreicht wurde durch diese technischen Maßnahmen ein hoher Eliminationsgrad der im Abwasser vorhandenen organischen Verbindungen und der Nährsalze Stickstoff und Phosphor. Die vom Bürger dafür aufzuwendenden Gebühren lagen 2007 im Durchschnitt bei ca. 116 € pro Einwohner und Jahr bzw. 2,24 €/m<sup>3</sup> (DWA 2008).

Mit Inkrafttreten der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000) und der neuen Oberflächengewässer Verordnung (OGewV 2011) wird jedoch ein strengerer, immissionsorientierter Maßstab an die Gewässerbewertung angelegt. Gefordert ist der gute ökologische Zustand ab dem Jahr 2015. Nach einer ersten Bestandsaufnahme sind für 2/3 der Oberflächengewässer noch erhebliche – häufig strukturelle – Defizite festzustellen. Neue Umweltqualitätsnormen (UQN) wurden mit maximalen Jahresdurchschnittskonzentrationen für viele Spurenstoffe festgelegt. Weitere, im µg/L bzw. ng/L vorkommende, kritische Schadstoffe werden derzeit überprüft. Neben den prioritären Schadstoffen (Pflanzen-

---

\* Kurzfassung des am 08.04.2011 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

schutzmittel, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Blei, Quecksilber, u.a.), geraten auch bestimmte Industriechemikalien (PCB, Organozinnverbindungen, Perfluorierte Tenside, etc.), Pharmaka (Diclofenac, Carbamazepin und Sulfamethoxazol), Körperpflegemittel, endokrin wirksame Substanzen, aber auch Viren und Krankheitskeime zunehmend in den Fokus des Gesetzgebers. Auch wegen der demographischen Entwicklung ist gerade bei den Arzneimitteln von einer weiteren Steigerung der Verbräuche – und damit ggf. auch des Eintrages in Gewässer – auszugehen.

Daher werden zusätzliche Anstrengungen erforderlich, um den aktuellen Anforderungen an den Gewässerschutz gerecht zu werden. Vor einer Behandlung von weiteren Stoffen End-of-pipe steht die Reduzierung der stofflichen Einträge aus Industrie, Haushalt und Krankenhäusern an der Quelle und der Ausbau von Kreisläufen in der Industrie. Auch punktförmigen Einträgen aus Regenentlastungen kommt eine erhebliche Bedeutung zu. Verfahren zur Ergänzung vorhandener Kläranlagen zur Elimination der im Blickpunkt stehenden Stoffe, Viren- und Krankheitskeime stehen zur Verfügung, müssen jedoch aus Gründen der Effizienz in vielen Fällen für die spezielle Anwendung noch angepasst und erprobt werden. Die Wirkungen von Verfahrenserweiterungen für unsere Kläranlagen sind stoffspezifisch unterschiedlich; bei den Membranverfahren ist die Behandlung der Konzentrate und bei den oxidierenden Verfahren die Entstehung von Reaktionsprodukten zu beachten. Vielversprechend sind Eliminationsverfahren auf der Basis von Aktivkohle und ggf. eine nachgeschaltete UV-Behandlung. Die Kosten für die zusätzliche Erweiterung der Kläranlagen liegen je nach Verfahrenskombination, zu eliminierender Leitsubstanz und zu erzielendem Eliminationsgrad zwischen 0,03 und 0,35 €/m<sup>3</sup> Abwasser. Bezogen auf den Frischwassermaßstab ergeben sich damit Zusatzkosten für die Abwasserreinigung von 0,05–0,5 €/m<sup>3</sup>. Unter Berücksichtigung der Bandbreite der Kosten wird deutlich, dass „maßgeschneiderte Konzepte“ zum Schutz unserer Gewässer erforderlich sind. Dazu müssen sowohl die diffusen als auch die punktförmigen Quellen in eine immissionsorientierte Betrachtung einbezogen und eine flussgebietsbezogene Bewirtschaftung vorangetrieben werden. Für die Verfahren müssen effiziente und ressourcenschonende Technologien weiterentwickelt werden, und die Bewertung und Auswahl der Maßnahmen muss unter Einbeziehung sozioökonomischer Faktoren erfolgen.

## Literatur

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (Hrsg.) 2008: Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung 2007 – Ergebnisse einer gemeinsamen Umfrage der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) und dem Deutschen Städtetag sowie dem deutschen Städte und Gemeindebund, Hennef.

OGewV 2011: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV 2011).  
Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429).

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) Nr. 2000/60/EG. Bundesumweltministerium (Hrsg.):  
Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000  
zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der  
Wasserpolitik.

## Die Orchideen unserer Heimat\*

ULRICH REIMERS

Kollwitzstraße 28, D-38159 Vechelde

Die Familie Orchidaceae ist weltweit verbreitet und die vermutlich artenreichste Pflanzenfamilie überhaupt. Man schätzt die Zahl der zu ihr gehörenden Arten auf 20.000 bis 35.000 [AHO 2005]. Sehr regelmäßig werden neue Arten, Unterarten oder Formen (Taxa) entdeckt. Auch in Europa steigt die Zahl der Taxa kontinuierlich. Dies ist allerdings wohl vor allen Dingen darauf zurück zu führen, dass in Folge intensiver Beschäftigung mit den Vertretern der Familie immer mehr der bisher als eine Unterart oder Form erfassten Taxa in den Rang eigenständiger Arten erhoben werden, denen dann weitere Unterarten und Formen zugeordnet werden. Während ein Handbuch der europäischen Orchideen des Jahres 1982 noch etwa 200 Taxa benannte, erfasst das im Jahr 2006 erschienene Werk derselben Autoren [BAU 2006] bereits 219 Arten, 233 Unterarten und weitere Varietäten. Verwendet man gar den Feldführer [DELF 2006], so hat sich in ihm die Zahl der Orchideenarten von der ersten zur dritten Auflage innerhalb von 13 Jahren um 150 vergrößert. Ob dieser Zuwachs bei kritischer Betrachtung Bestand haben wird, darf hinterfragt werden. Hier wäre ein interessantes Betätigungsfeld für wissenschaftlich arbeitende „Makro-Botanik“, aber die gibt es ja immer weniger.

Für den an Orchideen Interessierten kommt eine weitere Komplikation hinzu. Nicht nur werden neue Arten benannt, sondern auch die Zuordnung zu Gattungen ändert sich als Folge insbesondere phylogenetischer Studien, also durch Auswertung der DNA-Sequenzen. So wurde beispielsweise aus dem Sumpf-Knabenkraut *Orchis palustris* nunmehr *Anacamptis palustris*. Es kann daher passieren, dass man – insbesondere im Mittelmeer-Raum – einer Pflanze gegenübersteht, die man gut zu kennen glaubt, und plötzlich gilt sie als neue Art in einer anderen Gattung.

In Deutschland ist die Zahl der vorkommenden Arten überschaubar. Es sind etwa 60, von denen fünf nur in den Alpen auftreten [KRE 2008]. Im mittleren

---

\* Kurzfassung des am 17. Juni 2011 gehaltenen Vortrags im Rahmen der Plenarsitzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.



Bereich Deutschlands liegt die Artenzahl bei 32. Davon kommen in der Region um Braunschweig herum etwa 20 Arten vor. Will man diese blühend finden, so bedarf es des Besuchs von etwa 12 Gebieten – und zwar zwischen Anfang Mai und Ende Juli. Viele Orchideenarten sind auf sehr spezielle, in vielen Fällen kalkreiche, Böden angewiesen und benötigen ein geeignetes Umfeld, insbesondere bezüglich der Belichtung. Praktisch alle Arten sind konkurrenzschwach und verschwinden, wenn sie von umgebender Vegetation bedrängt werden. Dies ist die Begründung dafür, dass viele der Standorte nur durch geeignete Beweidung oder menschliche Pflegemaßnahmen erhalten werden können. Nur eine der bei uns vorkommenden Arten, die Breitblättrige Stendelwurz (*Epipactis helleborine*), ist relativ weit verbreitet. Andererseits können Orchideen bei geeigneter Veränderung eines Lebensraumes auch plötzlich an Stellen auftauchen, an denen man sie nie vermutet hätte. Das liegt unter anderem daran, dass die heimischen Orchideen winzige Samen in enorm großer Zahl produzieren, die vom Wind weit verbreitet werden können. In einer einzigen Samenkapsel z.B. des Frauenschuhs (*Cypripedium calceolus*) findet man bis zu 40.000 Samen. Da diese Samen keine Nährstoffe beinhalten, die dem Keimling als Lebensgrundlage dienen könnten, sind sie auf das Zusammentreffen mit geeigneten Pilzen angewiesen, deren Pilzmyzel ihnen die Nährstoffe liefert, die sie zum Keimen benötigen. Dies ist eine Mykorrhiza genannte symbiotische Lebensform [PRE 2000]. Das Aufkeimen ist auch noch nach vielen Jahren möglich. Das überraschende Vorkommen der Bienenragwurz (*Ophrys apifera*) auf einer ehemaligen Erddeponie im Landkreis Peine – dem nördlichsten in Niedersachsen bekannten Standort der Art – dürfte so zu erklären sein.

Die nachfolgende Tabelle listet die in der Region Braunschweig aktuell vorkommenden Arten auf:

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
<i>Cephalanthera damasonium</i>	Weißes Waldvögelein
<i>Cypripedium calceolus</i>	Frauenschuh
<i>Dactylorhiza fuchsii</i>	Fuchs' Fingerwurz
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	Fleischfarbene Fingerwurz
<i>Dactylorhiza majalis</i>	Breitblättrige Fingerwurz
<i>Epipactis atrorubens</i>	Rotbraune Stendelwurz
<i>Epipactis helleborine</i>	Breitblättrige Stendelwurz
<i>Epipactis microphylla</i>	Kleinblättrige Stendelwurz
<i>Epipactis palustris</i>	Sumpf-Stendelwurz
<i>Epipactis purpurata</i>	Violette Stendelwurz
<i>Gymnadenia conopsea</i>	Mücken-Händelwurz
<i>Himantoglossum hircinum</i>	Bocks-Riemenzunge
<i>Neottia nidus-avis</i>	Vogel-Nestwurz

<i>Neottia ovata</i>	Großes Zweiblatt
<i>Ophrys apifera</i>	Bienen-Ragwurz
<i>Orchis militaris</i>	Helm-Knabenkraut
<i>Orchis purpurea</i>	Purpur-Knabenkraut
<i>Orchis mascula</i>	Stattliches Knabenkraut
<i>Platanthera chlorantha</i>	Grünliche Waldhyazinthe

---

Die vermutlich bekannteste einheimische Orchideenart ist der Frauenschuh (*Cypripedium calceolus*) [s. Abb.]. In der Region um Braunschweig herum gibt es nur noch in einem Waldgebiet wenige blühende Exemplare. Eine landesweite Bestandsaufnahme aus dem Jahr 2007 [STE 2010] zeigte, dass die Art in Niedersachsen überhaupt nur noch an 31 Standorten vorkommt. 2319 blühende Sprossen wurden dort registriert. Der Schwerpunkt des Vorkommens liegt im Leine- bzw. Weser-Bergland. Leider wird die Art immer wieder Opfer von Dieben, die Pflanzen ausgraben, um sie anschließend vermutlich im eigenen Hausgarten auszupflanzen. In Anbetracht der speziellen Böden, die der Frauenschuh zum Gedeihen benötigt, führt ein derartiges Verpflanzen stets dazu, dass das Exemplar nach kurzer Zeit eingeht.

Die Bedrohtheit vieler Standorte der Orchideen unserer Heimat führt wohl jeden ernsthaft an dieser Pflanzenfamilie Interessierten irgendwann zu der Erkenntnis, dass das Finden und Fotografieren dieser of ganz zauberhaften Pflan-



Einzelblüte des Frauenschuhs (*Cypripedium calceolus*).

zen nicht alles sein kann. Und so liegt es nahe, sich irgendwann auch in der Biotoppflege selbst zu engagieren. Bedauerlicherweise ist aber festzuhalten, dass es immer weniger jüngere Menschen gibt, die an solchen Pflegemaßnahmen Interesse haben. Der Arbeitskreis Heimische Orchideen Niedersachsen e.V. klagt seit vielen Jahren darüber, dass es nicht gelingt, für seine wichtige Biotop-schutzarbeit Nachwuchs zu finden. So ist zu befürchten, dass die Vielfalt der Orchideen unserer Heimat irgendwann Vergangenheit sein wird.

### Literatur

- [AHO 2005] Arbeitskreise Heimische Orchideen (Hrg.): Die Orchideen Deutschlands. Verlag der Arbeitskreise Heimische Orchideen Deutschlands (AHO), Uhl-städt-Kirchhasel, 2005.
- [BAU 2006] BAUMANN, H., S. KÜNKELE & R. LORENZ: Orchideen Europas. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2006.
- [DELF 2006] DELFORGE, P.: Orchids of Europe, North Africa and the Middle East. A&C Black Publishers, London, 2006.
- [KRE 2008] KRETZSCHMAR, H.: Die Orchideen Deutschlands und angrenzender Länder. Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim, 2008.
- [PRE 2000] PRESSER, H.: Orchideen. ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg, 2000.
- [STE 2010] STERN, W.: *Cypripedium calceolus* L. in Niedersachsen. In: Berichte aus den Arbeitskreisen Heimische Orchideen, 27/1, Koblenz, 2010.

## **Rohstoffrecycling am Beispiel der Stahlschrott-Entzinkung\***

EBERHARD GOCK

Technische Universität Clausthal, Institut für Aufbereitung und Deponietechnik  
Walther-Nernst-Straße 9, D-38678 Clausthal-Zellerfeld

Der Weltverbrauch an Zink liegt derzeit bei ca. 11 Mio. Tonnen pro Jahr. Davon werden ca. 50% für den Korrosionsschutz von Stahl eingesetzt. Da die sicheren Primärrohstoffreserven gegenwärtig auf nur 220 Mio. Tonnen geschätzt werden, sind zur Rohstoffsicherung hoch effiziente Recyclingtechnologien Voraussetzung. Bezogen auf die deutschen Verhältnisse fallen allein bei der Feinblechverarbeitung der Automobilindustrie jährlich 3 Mio. Tonnen verzinkte Neuschrotte an, die direkt in das Stahlrecycling überführt werden müssen. In den Stahlwerken erfolgt die Zinkabtrennung über die Staubabscheidung, was mit erheblichem verfahrenstechnischen Aufwand verbunden ist. Hinzu kommt, dass bei der nachfolgenden metallurgischen Aufarbeitung der Stäube auf Zink über den Wälzprozess große Metallverluste und zusätzlich Verunreinigungen durch Fluor und Chlor entstehen, die bei der Zinkelektrolyse erhebliche Störungen verursachen.

Gegenwärtig wird an der CUTEC-Institut GmbH in Zusammenarbeit mit dem Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik der TU Clausthal ein neues Verfahren zur sauren Vorentzinkung, die Bypass-Vorentzinkung, im Rahmen eines BMBF-Verbundprojektes eingeführt und eine Pilotanlage für einen Durchsatz von 100 Tonnen pro Tag betrieben.

Die Verbundpartner kommen aus der Forschung, der Automobilindustrie, dem Schrotthandel, der Zinkmetallurgie, der Gießereiindustrie und dem Maschinen- und Anlagenbau. Es handelt sich um ein kaltes Entzinkungsverfahren für Stahlschrott, das mit dem Endelektrolyten der Primärzinkmetallurgie für die Zinkablösung arbeitet. Das Problem der Eisenabtrennung wird gelöst, in dem die erzeugten hoch zinkhaltigen Lösungen in den Primärzinkgewinnungsprozess

---

\* Kurzfassung des am 09.07.2011 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

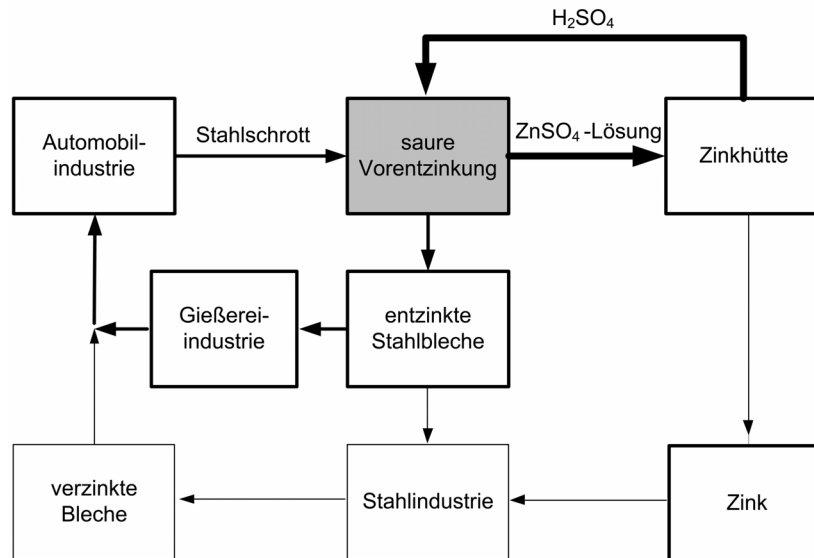
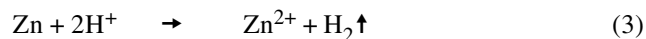
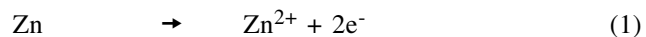


Bild 1: Verfahrensverbund zur „Bypass-Vorentzinkung“ durch Kopplung von saurer Stahlschrottentzinkung, Zinkhütte und Gießereiindustrie.

zurückgeführt werden. Mit diesem Bypass-Prinzip gelingt ein abfallfreies Zinkrecycling. Den Verfahrensverbund bei der Bypass-Vorentzinkung zwischen saurer Schrottentzinkung, Zinkhütte und Gießereiindustrie zeigt Bild 1.

Bei dem Reaktionsmechanismus des Verfahrens handelt es sich um eine Redoxreaktion, wobei die Auflösung von Zink die Oxidation (1) und die Umsetzung von Hydroniumionen zu Wasserstoff die Reduktion (2) darstellen.



Die Gesamtreaktion (3) zeigt, dass die Wasserstoffherzeugung thermodynamisch unumgänglich ist. Bei einem Massenverhältnis von Stahl zu Zink von 1.000 zu 14 stellt der entstehende Wasserstoff jedoch kein Gefährdungspotenzial beim Anlagenbetrieb dar. Er kann mit einem Luftüberschuss an die Atmosphäre abgegeben werden. Der verwendete Endelektrolyt hat einen Restzinkgehalt von 20 bis 50 g/L und einen Anteil an freier  $\text{H}_2\text{SO}_4$  von ca. 180 g/L. Die Prozesstemperatur liegt bei maximal 60°C. Die vorlaufenden Zinkionen bewirken eine



Bild 2: Pilotanlage zur Bypass-Vorentzinkung von verzinkten Neuschrotten in der CUTEC-Institut GmbH.

beschleunigte Startreaktion im Vergleich zu unbeladener Schwefelsäure, so dass die Reaktionsdauer zur vollständigen Entzinkung maximal ca. 3 Minuten beträgt. Die Konzentration der gewinnbaren Zinksulfatlösungen liegt bei 130 g Zink pro Liter.

Die Pilotanlage wurde von der Andritz AG, Wien in einer Versuchshalle der CUTEC-Institut GmbH, Clausthal errichtet und befindet sich gegenwärtig in der Einfahrphase. Bild 2 zeigt ein Übersichtsfoto der Gesamtanlage.

Im Vordergrund ist die Aufgabe mittels Vibrationsförderer zu sehen, von dem der Blechschrott der ersten Laugestufe zugeführt wird. Es schließen sich eine weitere Laugestufe und drei Waschstufen an. Die Anlage ist vollständig gekapselt und an eine Absauganlage angeschlossen, die eine Gas-Wäsche enthält. Die Peripherie bilden zwei Säure tanks mit Ölabscheidern mit einem Volumen von insgesamt 20 m<sup>3</sup>. Die Versorgung mit Endelektrolyt und der Abtransport der beladenen Säure wird durch Tankwagen sichergestellt. Zur Peripherie gehört auch eine Abwasserbehandlungsanlage zur Ausfällung von Restmetallionen durch Neutralisation. In der letzten Stufe werden die entzinkten Schwarzbleche im Luftstrom getrocknet. Der noch verbleibende Ölfilm bildet zudem einen willkommenen Korrosionsschutz, so dass die zinkfreien Bleche einen optimalen Vorstoff für den Einsatz in der Gießereiindustrie darstellen.

Bei einer Gegenüberstellung der Energiebilanzen der herkömmlichen pyrometallurgischen Entzinkung mit der entwickelten Vorentzinkung vermindert sich der energetische Aufwand um den Faktor 50. Gleichzeitig lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen um den Faktor 40 herabsetzen.

Aus verfahrenstechnischer und energetischer Sicht ist die Vorentzinkung von Stahlblechen der logischste Weg zur Zinkabtrennung. Da sich die Einführung der Verzinkung als Korrosionsschutzmaßnahme in der Automobilindustrie über einen Zeitraum von 15 Jahren vollzog, wurde die Notwendigkeit, neue Entzinkungstechnologien zu entwickeln, zunächst verdrängt. Es wurden vielmehr die konventionellen Wege der Zinkabtrennung mit dem Filterstaub der Stahlwerke und die Nachkonzentrierung von Zinkoxid durch den Wälzprozess bzw. die Verbringung der Stäube in Untertagedeponien favorisiert. Nachdem vor 10 Jahren in den Versatzbergwerken die Zinkgehalte der Stahlwerksstäube auf max. 10% begrenzt wurden, verblieb als einzige Variante die Verwertung durch den Wälzprozess. Mit den steigenden zinkhaltigen Flugstaubmassen wurden die Anforderungen der Zinkelektrolyse an die Wälzoxide in Bezug auf die Reinigung von Chlor und Fluor strenger. Die Abtrennung von Chlor und Fluor erfordert eine zusätzliche Waschstufe für das Wälzoxid, so dass diese Verfahrensrouten heute ernsthafte wirtschaftliche Probleme aufwirft. Auch als Folge der Wirtschaftskrise wurde in diesem Zusammenhang in Deutschland die einzige Zinkhütte in Datteln, die vorwiegend Wälzoxide verarbeitete, zu Beginn des Jahres 2009 geschlossen. Heute werden deutsche Wälzoxide als Vorstoff für die Zinkgewinnung zur Verarbeitung bis nach Kanada exportiert.

Vor diesem Hintergrund sind die Bedingungen für hydrometallurgische Vorentzinkungsprozesse außerordentlich günstig. **Die Volkswagen AG in Wolfsburg plant die Einführung der sauren Vorentzinkung im Jahr 2013.** Vorgesehen ist eine erste Teilanlage für einen Durchsatz von 40.000 Jahrestonnen Neuschrott aus dem Presswerk 1 in Wolfsburg. Abnehmer für die entzinkten Stahlschrotte wird die Gießerei Fritz Winter Eisengießerei GmbH & Co. KG in Stadtallendorf sein. Der Grundgedanke dabei ist, spezifische Stahlqualitäten der jeweiligen Automobilhersteller im Kreislauf zu führen, um Vermischungen mit Fremdlegierungen zu vermeiden.





## **Die Geschichte vom „Fliegenden Geld“: Von der Festigkeit der Währung in China\***

**Dem Andenken Herbert Frankes (Köln 1914 –Gauting 2011) gewidmet**

HELVIG SCHMIDT-GLINTZER

Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel  
Lessingplatz 1, D-38300 Wolfenbüttel

### **Vorbemerkung**

Die Geschichte vom Fliegenden Geld ist die Geschichte vom ältesten Papiergeld und sie ist mit China verknüpft und mit Marco Polo, dem großen Reisenden, der in Europa als einer der ersten vom Papiergeld in China berichtete. Tatsächlich war die Emission von Papiergeld in großem Stil durch die Mongolen, namentlich durch den im Jahre 1260 gewählten Großkhan Khubilai (1215–1294), eine Innovation für das System von Zahlungsmitteln in China, wo man seit der ersten Reichseinigung im dritten vorchristlichen Jahrhundert über Jahrhunderte lediglich Metallwährungen, vor allem Bronzemünzen kannte. Zeitgleich mit der Einführung von Papiergeld in großem Stil unter der Mongolenherrschaft kam es zur Einführung von Silber als Zahlungsmittel. Es sollten alle diese Währungsmetalle mit Papiergeld konvertibel sein.

Zur Stabilisierung diente, dass der Handel mit Münzmetall verboten wurde, so dass allein das limitiert ausgegebene Papiergeld als Währung dienen sollte. Davon soll zunächst die Rede sein. Bekanntlich ist Geld, vor allem aber Papiergeld nur so fest wie das Vertrauen, das Menschen darein setzen. Von solchem Vertrauen und von der Festigkeit der Währung soll daher in einem zweiten Schritt die Rede sein. In diesem Zusammenhang erfordert allein schon die Frage, warum Papiergeld und ein entsprechendes Bankensystem in unserem modernen Sinne in China erst viel später als in Europa flächendeckend eingeführt wurde, das Thema in eine allgemeinere Betrachtung einzubetten. In einem dritten Schritt werde ich dann noch einmal auf Marco Polo und die Frage der Globalisierung aus heutiger Perspektive zurückkommen.

---

\* Der Vortrag wurde am 11.11.2011 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

## I. Marco Polo und die Anfänge des Papiergeldes in China

### Marco Polo (1254–1324) war in China

Auch wenn ich erst in einem späteren Kapitel von Vertrauen sprechen will, muss doch auch hier in einem anderen Sinne die Vertrauens-, oder besser: die Glaubwürdigkeitsfrage gestellt werden. War Marco Polo wirklich in China? In einem soeben erschienen Buch mit dem Titel „Alles Mythos! 20 populäre Irrtümer über China“<sup>1</sup> bezeichnet die Verfasserin den China-Aufenthalt Marco Polos als Mythos, auch wenn sie nicht den Beweis antritt, dass Marco Polo nicht in China war. Inzwischen wissen wir, dass er in China war – ich komme darauf zurück. Entscheidender noch als die Frage, ob Marco Polo in China war oder nicht, ist jedoch die Frage, nach welchen Kriterien wir dies entscheiden und nach welchen Belegen wir suchen.<sup>2</sup>

Lange schon hegte man Zweifel daran, ob Marco Polo wirklich in China war. Denn man glaubte, dass einer, der von einem 17 Jahre dauernden Aufenthalt berichtet, nur dann tatsächlich in China gewesen sein dürfte, wenn er auch in chinesischen Berichten erwähnt wird. Wer einen so umfassenden Bericht über China im Rahmen seines Reiseberichtes gibt, könne nicht, so meinten manche, dort gewesen sein. Wie sehr diese Frage auch die Sinologen umgetrieben hat, belegt der Umstand, dass selbst der Ausnahmegelehrte Herbert Franke (1914–2011) öffentlich das Angebot machte: wer eine Erwähnung Marco Polos in chinesischen Quellen findet, werde automatisch von ihm promoviert. Herbert Franke, der mit der Geschichte von Ausländern in chinesischen Diensten vertraut war, wusste nämlich, dass man in China sein und sich dort auskennen kann, selbst wenn man dort in keinem Bericht erwähnt wird. Womit nicht gesagt sein soll, dass Marco Polo nicht doch unter irgendeinem chinesischen Namen, wie er jedem Ausländer zugesprochen werden kann, erwähnt sein könnte. Nur hat einen solchen Namen bisher keiner identifiziert.

Der Beleg dafür aber, dass Marco Polo in China war, findet sich auf andere Weise in der überlieferten Literatur, indem nämlich die von ihm mitgeteilten Informationen mit denjenigen Informationen abgeglichen werden, die wir in

<sup>1</sup> Françoise Hauser, *Alles Mythos! 20 populäre Irrtümer über China*. Stuttgart 2011.

<sup>2</sup> Ich selber habe zu diesem Thema eine eigene Beziehung, bin ich doch selbst vor bald 40 Jahren in den Spuren Marco Polos gereist: Als ich mir am 26. Februar 1974 in der japanischen Kaiserstadt Kyoto den Band „Marco Polo – The Travels“ aus der Reihe der Penguin Classics kaufte, war in mir der Entschluss gereift, wenige Monate später den Rückweg nach Deutschland nicht mit dem Flugzeug, sondern auf dem Landweg zurückzulegen, auf den Spuren Marco Polos gewissermaßen. Das Buch begleitete mich durch Birma, Indien, Pakistan, Afghanistan, Iran und die Türkei, bis ich dann in Istanbul in den Zug nach Belgrad stieg und dann von Zagreb die Heimreise nach München antrat.

zeitgenössischen Quellen finden. Dieser Mühe hat sich Hans Ulrich Vogel von der Universität Tübingen unterzogen, dessen Bericht und Bewertung der bisherigen, mühelos eine ganze Bibliothek füllenden Marco-Polo-Debatte sich gerade im Druck befindet und der mir vorab seine Ergebnisse zur Verfügung gestellt hat. Der Bericht erscheint unter dem Titel „Marco Polo was in China : New Evidence from Currencies, Salts and Revenues“.<sup>3</sup>

Das Ergebnis dieser Forschung besteht im wesentlichen aus zwei Erkenntnissen: erstens – und darauf komme ich zurück – ist China nicht China, m.a.W.: es ist in der Geschichte nicht einheitlich gewesen. Währungen, Münzwerte, Maße und Gewichte waren, trotz der großen Geschichte vom Reichseiniger Qin Shihuangdi (221–210 v. Chr.) und von dessen Normierung in allen Bereichen, regional sehr unterschiedlich. Da nun aber Marco Polo berichtete, was er jeweils vor Ort beobachtete, war dies keinesfalls für das ganze Herrschaftsgebiet verallgemeinerbar. Das führt zu der anderen Erkenntnis: gerade weil seine Beobachtungen nicht für das ganze Reich zutreffen, sondern nur für einzelne Beobachtungsorte, hat man seinen ganzen Bericht verworfen. Die lokalen und regionalen Quellen jedoch belegen, dass die Beobachtungen Marco Polos für die jeweiligen Orte zutreffend sind, so dass wir in den Quellen nirgendwo seinen Namen, aber das erwähnt finden, was er berichtete. Er war also tatsächlich „vor Ort“! – und somit war Marco Polo tatsächlich in China.

Dies wird anschaulich in dem Bericht von der Rückreise, auf der Marco Polo mit anderen die Mongolenprinzessin Kökechin nach Persien begleitete, wo sie den Il-khan Argun heiraten sollte. Ein Vergleich mit den einzelnen Facetten der diesen Vorgang betreffenden Überlieferung bestätigen Marco Polos Bericht und schließen auch hier aus, dass sein Bericht aus dritter Hand stammen könnte. Da die Reisegesellschaft, die Quanzhou (Fujian) im Februar 1291 mit 14 seetüchtigen Dschunken zunächst Richtung Borneo verlassen hatte, Indien umschiffte und immer auf die Monsune Rücksicht nehmen musste, konnte die Prinzessin erst im September oder Oktober 1293 in Abhar bei Kazvin Ghazan übergeben werden, dessen Vater Argun, der sie ja hatte heiraten sollen, bereits am 10. März 1291 verstorben war. Im Frühjahr 1295 verließen die Polos Persien über Täbris und Konstantinopel und erreichten Venedig zum Winterbeginn 1295.

### **Anfänge des Papiergeldes: Fliegendes Geld und Opfergeld**

Lange Zeit also wurde mit diesem Marco Polo der Beginn des Papiergeldes verbunden. Aus seinem Bericht von seinen Beobachtungen am Hofe des mongolischen Großkhans in Khanbalik am Ende des 13. Jahrhunderts erfuhr man in

---

<sup>3</sup> Erscheint bei Brill, Leiden.

Europa zum ersten Male etwas über die Verwendung von Papiergeld im Fernen Osten. Dort lesen wir: „Von diesem Geld hat der Khan eine solche Fülle herstellen lassen, dass er damit die Reichtümer der Welt erwerben könnte.“ – Es war auch eine Folge dieses Berichts, dass man in Europa lange Zeit die Einführung des Papiergeldes den Mongolen zuschrieb, was Julius Klaproth dann dazu veranlasste, im Jahre 1822 im ersten Band des *Journal Asiatique* einen Artikel „Sur l’origine du papier monnaie“ zu verfassen, in dem er auf die viel früheren Anfänge von Papiergeldemission in China hinweist.

Vorformen von „Banknoten“ gab es nämlich bereits in der Han-Zeit (206 v.Chr. – 220 n.Chr.), und Bezugsscheine sowie Wechseln vergleichbare Papierdokumente gab es ebenfalls schon vor 2000 Jahren. Hierzu gehören auch Getreidemarken und Schuldscheine. Doch als Vorläufer des Papiergeldes im engeren Sinne kann erst das „Fliegende Geld“ (*fei qian* 飛錢) gelten, bei dem es sich um Depositenscheine handelt, die später auch als „Bequemes Geld“ (*bian huan* 便換) bezeichnet wurden. Zwar wissen wir nicht sicher, ob solche dem Geld ähnliche Formen gedruckt waren, doch ist es wahrscheinlich, weil auch anderes gedruckt wurde, etwa Gebetsformeln (Sanskrit: *dharani*) und Münzbilder auf Papier, die als Opfergeld seit der Tang-Zeit im Gebrauch waren<sup>4</sup> und die bis heute verwendet werden. In diesen Zusammenhang gehört der Hinweis auf den gemeinchinesischen Gebrauch von in Papier gefertigten Nachahmungen von weltlichen Gegenständen zur Opferung für die Toten. Papiergeld ist dabei das beliebteste Mittel, und gelegentlich wird auch echtes Geld mit verbrannt, um die Wirkung zu steigern.<sup>5</sup>

An dieser Stelle könnte ein Exkurs zur „als-ob“-Philosophie folgen<sup>6</sup> sowie zur Wirtschaftsethik in China. Statt dessen erlaube ich mir kurze Hinweise auf die Wirtschaftsgeschichte, um sinnvoll weiter etwas über Geld und Papiergeld auszusagen – wobei ich aus meinem vor dreißig Jahren unter dem Titel „Zur Geschichte des Papiergeldes in China“ betitelten Aufsatz einige Passagen übernehme.<sup>7</sup> – Wiederholung von Erkenntnissen – denn nicht nur Neues habe ich vorzutragen – hat nämlich auch deshalb seinen Sinn, weil dadurch der Gefahr von Legendenbildungen vorgebeugt wird. Denn es wäre der Eindruck irreführend, in China hätte man schon vor 2500 Jahren Geld gedruckt, wie ein Bericht

<sup>4</sup> Siehe Ching-lang Hou, *Monnaies d’offrande et la notion de tresorerie dans la religion chinoise*. Paris 1975.

<sup>5</sup> Siehe C. Fred Blake, *Lampooning the Paper Money Custom in Contemporary China*, in: *The Journal of Asian Studies* 70 (2011), S. 449–469, hier bes. S. 460.

<sup>6</sup> Siehe Helwig Schmidt-Glintzer, *Wohlstand, Glück und langes Leben. Chinas Götter und die Ordnung im Reich der Mitte*. Frankfurt/Main 2009, S. 22

<sup>7</sup> Siehe Helwig Schmidt-Glintzer, *Zur Geschichte des Papiergeldes in China*, in: *Rheinisches Landesmuseum Bonn, Geld aus China*. Köln 1982, S. 38–44.

nahelegen möchte, den die Süddeutsche Zeitung unter der Überschrift „Der Ben Bernanke Asiens. Shan Qi riet vor 2500 Jahren, bei Dürre mehr Geld zu drucken“ veröffentlichte.<sup>8</sup> Ein wissenschaftsgeschichtlicher Ausflug soll hier jedoch nicht erfolgen. Dann nämlich könnte man nach der Erwähnung von Julius Klaproth auf Max Weber eingehen, der auf der Grundlage der 1837 im *Journal Asiatique* von Édouard Biot vorgelegten Arbeit *Sur la système monétaire des Chinois* in die Überarbeitung seiner Studie zum Konfuzianismus einen langen Zusatz zum Geldwesen einarbeitete,<sup>9</sup> den er mit der Feststellung beginnt: „Das chinesische Geldwesen bewahrt Züge äußerster Archaistik in Verbindung mit scheinbar modernen Bestandteilen.“<sup>10</sup>, eine Beobachtung übrigens, die bis heute so lapidar wie zutreffend ist.

Tatsächlich war – das aber ist so gut wie sicher – das erste wirkliche Papiergeld vor etwa tausend Jahren in der Hauptstadt der Provinz Sichuan, in Yizhou, im Umlauf unter dem Namen *jiaozi* 交子. Dies war eine Reaktion auf die Münzverknappung, die eine Folge eines sich ausweitenden Binnenhandels sowie des Abflusses von Kupfermünzen war. Man scheint nämlich Ende des ersten Jahrtausends in dieser Provinz Sichuan, die im wesentlichen durch das sogenannte „Rote Becken“ gebildet wird, zu einer reinen Eisenwährung übergegangen zu sein, deren Unhandlichkeit die Herstellung von Geldhinterlegungsscheinen anregte. In der Regierungszeit des Kaisers Zhenzong (998–1022) wurde sechzehn Händlern das Recht zugebilligt, solche *jiaozi*-Noten auszugeben. Diese frühen Noten waren schwarz und rot gedruckte Formulare, in die der Betrag mit Tusche eingesetzt wurde. Missbrauch führte dazu, dass im Jahre 1024 die Regierung das Monopol für Geldemission wieder an sich zog.

Die ausgegebenen Noten sollten nur für einen bestimmten Zeitraum Gültigkeit behalten und dann gegen neue eingetauscht werden. Diese Fristen wurden jedoch oft verlängert, so dass es im Laufe der Zeit zu einer Zunahme des zirkulierenden Geldes kam, da neben dem weiterhin gültigen alten Geld neues gedruckt wurde. Vor allem zur Deckung der Staatsausgaben und der Militärkosten ließ die Regierung die Geldmenge sich derart aufblähen, dass es zu einer kontinuierlichen Abwertung kam. Bereits gegen Ende des 11. Jahrhunderts war Papiergeld in nahezu allen Teilen Nordchinas verbreitet, und im 12. Jahrhundert finden wir es in ganz China. Dabei gab es eine Reihe verschiedener Emissionen, die lokal begrenzt waren. Ihre Gültigkeit war jedoch sehr unterschiedlich, so dass man-

<sup>8</sup> Christoph Neidhart, Der Ben Bernanke Asiens. Shan Qi riet vor 2500 Jahren, bei Dürre mehr Geld zu drucken, in: Süddeutsche Zeitung Nr. 258 vom 8. November 2010, S. 23.

<sup>9</sup> Max Weber, Die Wirtschaftsethik der Weltreligionen. Konfuzianismus und Taoismus. Schriften 1915–1920, hrsg. von Helwig Schmidt-Glintzer. Tübingen 1989, S. 133–148.

<sup>10</sup> Ebd., S. 133

che Noten, die nur in einer bestimmten Provinz einlösbar waren, dennoch in weiten Teilen des Reiches als Zahlungsmittel akzeptiert wurden. Der Gesamtwert des zirkulierenden Geldes betrug zu Beginn des 12. Jh. schätzungsweise 70 Millionen Schnüre, während im Jahre 1232 dann bereits 329 Millionen Noten im Umlauf waren.

Das am weitesten verbreitete Papiergeld der Südlichen Song-Dynastie (1127–1269) war das *hui zi* 會子-Geld. Ebenso wie das *jiao zi*-Geld eine ursprünglich private Geldemission, gab die Regierung im Jahre 1160 n.Chr. eigenes *hui zi*-Geld aus in Noten von 1, 2 und 3 Schnüren Käschen, und später dann auch in 200, 300 und 500 Käschen. Während dieses Geld zunächst nur in der Umgebung der Hauptstadt zirkulierte, wurde es nach und nach im ganzen Reich verwendet. Zunächst blieb die Währung relativ stabil. Bis etwa um das Jahr 1208 erhielt man für eine Schnüre Käschen Notengeld 700 Käschen Kupfergeld, außerhalb der Hauptstadt allerdings nur etwa 600 Käschen. In den folgenden Jahrzehnten sank der Wert erheblich, und im Jahre 1263 erhielt man nur noch ein Viertel des Nennwertes.

### **Das Papiergeld unter der Mongolenherrschaft**

Zwar wurden bereits zu Lebzeiten Tschingis Khans (starb 1227) und nach dem Fall der Jurchen-Dynastie Jin im Jahre 1234 von den Mongolen Geldnoten ausgegeben, doch eine Papiergeldemission großen Stils setzte erst im Jahre 1260 ein, als eine organisierte Verwaltung aufgebaut wurde. Trotz der absoluten Entwertung des Papiergeldes am Ende der Jurchen-Herrschaft wie dann auch am Ende der Song-Dynastie waren die Berater der Mongolenherrscher nicht abgeschreckt von der Einführung des Papiergeldes. Trotz dieser schlechten Erfahrungen wurde von den Mongolen die Papiergeldwährung sogar zur alleinigen Währung erklärt, während es unter den vorangehenden Dynastien nur subsidiär zu Kupfermünzen im Umlauf gewesen war. Somit kann die Mongolenzeit als der Höhepunkt in der Entwicklung des Papiergeldes im traditionellen China angesehen werden. In jener Zeit war nicht nur der Papiergeldumlauf am höchsten, sondern es gab auch die größte Vielfalt an Noten. Das chinesische Notengeld jener Zeit wurde bis in die äußersten westlichen Gebiete des Reiches, das heutige Xinjiang, und bis in das heutige Birma und Vietnam hinein als Zahlungsmittel anerkannt. Um neben der Papiergeldwährung keine anderen Zahlungsmittel aufkommen zu lassen, zog die Regierung bereits im Jahre 1262 das Edelmetallmonopol an sich und verbot den Handel mit Silber und Gold. Nach der endgültigen Unterwerfung des Song-Reiches wurden im Jahre 1280 auch in den letzten verbleibenden südlichen Reichsteilen die Kupfermünzen eingezogen. Trotz einer insgesamt sehr überlegten Geldvermehrung gab es dennoch eine sich im Laufe der Jahre verschärfende inflationäre Entwicklung. Im Jahre 1356 hatte das zirkulierende Papiergeld dann praktisch keinen Wert mehr, und die Bevölkerung kehrte zur Kupferwährung zurück. Es ist also jene Zeit, in der das

Papiergeld eine erste große Blüte erlebte, in der sich Marco Polo 17 Jahre in China aufhielt, bis er im Winter des Jahres 1295 wieder nach Venedig heimkehrte. Die bereits unter Qingis Khan einsetzende Papiergeldemission hatte, wie gesagt, Khubilai Khan 1260, bestärkt durch den Berater Liu Bingzhong 劉秉忠 (1216–1274), aufgegriffen.<sup>11</sup>

Im August/September 1260<sup>12</sup> erfolgte eine Papiergeldemission auf der Grundlage der Seidenballenwährung, genannt *Tongxing jiaochao* 通行交鈔 [Allgemein gültiges Tauschgeld]. Die wenig später emittierte Note *Zhongtong yinhuo* 中統銀貨 [Zhongtong-Geld zum Tausch auf Silberbasis] in fünf Werten zirkulierte nur kurz und wurde rasch durch das neue *Zhongtong yuanbao jiaochao* 中統元寶交鈔 [Zhongtong Basis-Schatz Tauschnote] ersetzt. Dieses kurz *Zhongtong chao* 中統鈔 [Zhongtong Note] genannte Geld kam im November/Dezember 1260 in Umlauf, während gleichzeitig das Bronzegeld ganz ausgesetzt wurde. Die Zhongtong-Noten gab es in zehn Werten. Bei den Einheiten der Zhongtong-Noten entsprach 2 *guan* (貫 „Schnüre“) einer Unze (*liang* 兩) Silber. Obwohl auf den Noten Bronze-Einheiten vermerkt waren, bezogen sie sich doch nur auf Silber bzw. Gold als Äquivalent.

Von 1275 an gab es zusätzliche kleinere Werte, die nicht lange Bestand hatten; 1287 dann gab es eine Neuemission von Papiergeld unter der Bezeichnung *Zhiyuan tongxing baochao* 至元通行寶鈔 [Zhiyuan Allgemeine Schatznoten], auch als *Zhiyuan chao* bekannt, die in elf Wertstufen ausgegeben wurden. Mit der Abwertung der Zhongtong-Noten um 80 Prozent wurde die Währung dieser neuen Noten an den Wert der bisherigen gekoppelt. Die (abgewerteten) alten Noten blieben konvertibel, während dies für die neuen Scheine nicht galt. Daher wurden auch in der Zeit von 1288 bis 1309 keine *Zhongtong*-Noten mehr gedruckt, jedoch *Zhiyuan*-Noten. Von 1311 an jedoch kam es wieder zu einem partiellen Rückgriff auf eine stärkere Beachtung von Gold und Silber, womit der Handel in Naturalien wieder an Bedeutung gewann.

So wenig der Papiergeldwährung der Mongolenherrschaft in China Dauer beschieden war, so eindrucksvoll und faszinierend muss doch der Gedanke einer solchen Papiergeldwährung gewesen sein. So hatte es im damaligen Persien am Ende des 13. Jahrhunderts, vor allem im Jahre 1294, Versuche gegeben, wie in China eine Papiergeldwährung einzuführen. Doch während technisch und instrumentell die Voraussetzungen für die Fortdauer einer Papiergeldwährung in China gegeben waren, so war das Reich doch nicht – und ist es vielleicht bis

<sup>11</sup> Siehe Hok-lam Chan, Liu Ping-chong (1216–1274): A Buddhist-Taoist Statesman at the Court of Khubilai Khan, in: *T'oung Pao* 53. 1/3 (1967).

<sup>12</sup> Ich folge hier der Darstellung Hans Ulrich Vogels.

heute nicht – so integriert, dass ein einheitliches Währungssystem auf Dauer hätte funktionieren können, was einem Europäer der Gegenwart durchaus plausibel erscheinen dürfte!

### Die Ming-Noten

Wenige Jahre nach der Errichtung der auf die Dynastie Yüan folgenden Ming-Dynastie (1368–1644) führte ihr Gründer, Ming Taizu, seinerseits eine Papiergeldwährung ein und ließ im Jahre 1375 die „Kostbare Note der Großen Ming“ (*Da Ming baochao* 大明寶鈔) auflegen, die mit seiner Regierungsdevise „Hung-wu“ gekennzeichnet war. Von diesem Hongwu-Kaiser der Ming-Dynastie (regierte 1368–1398) heißt es in der erwähnten Notiz der Süddeutschen Zeitung, mit Portrait, er habe so viel Papiergeld drucken lassen, „dass es zur Hyperinflation kam“.<sup>13</sup> Obwohl spätere Ming-Herrscher ihre eigenen Regierungsdevisen hatten, druckten sie auch auf ihr Geld die Regierungsdevise des Gründers der Dynastie. Die Noten, die im Gegensatz zur Praxis der Yuan-Dynastie in Münzgeld umgetauscht werden konnten, wurden zum Nennwert von 100, 200, 300, 400 und 500 Käsch sowie von einer Schnüre (*guan* 貫) ausgegeben, wobei eine Schnüre Papiergeld gleich 1000 Kupfermünzen, eine Unze Silber oder einer Viertel Unze Gold war. Doch der Handel mit Gold und Silber blieb verboten. Die Steuern mussten zu 30 Prozent in Münzen, zu 70 Prozent in Papiergeld abgeliefert werden. Aber auch unter der Ming-Dynastie gab es einen raschen Währungsverfall, und seit dem 16. Jh. war das Papiergeld faktisch ganz durch Silber als wichtigstes Zahlungsmittel abgelöst.

Bis auf ein kurzfristiges Notgeld in der Mitte des 17. Jahrhunderts führte die folgende Mandschu-Dynastie (1644–1911) unter dem Druck der Verhältnisse erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts eine Papierwährung ein. Es dauerte bis zum Jahre 1935 bis eine einheitliche Währung für das ganze Land durchgesetzt werden konnte. Bevor ich mich der Frage zuwende, warum es zu dieser Diskontinuität im Notengeldsystem Chinas kam, will ich mich der Frage des Vertrauens zuwenden.

## II. Von der Festigkeit der Währung und vom Vertrauen

### Wirtschaftsethik

Beides, Währung und Vertrauen, hängt eben sehr eng miteinander zusammen. Trotz der bei uns gern gehegten Vorstellung vom monolithischen Charakter

<sup>13</sup> Christoph Neidhart, Der Ben Bernanke Asiens. Shan Qi riet vor 2500 Jahren, bei Dürre mehr Geld zu drucken, in: Süddeutsche Zeitung Nr. 258 vom 8. November 2010, S. 23.



Chinas, war China stets sehr gefährdet. Dies habe ich in dem „China. Vielvölkerreich und Einheitsstaat“ betitelten Buch dargelegt.<sup>14</sup> Die Illusion von der Einheit Chinas sucht man seit dem 20. Jahrhundert in Realität umzusetzen. Es ist diese Bemühung, die auch im Rückblick dazu verführt, China als Einheit zu sehen, was es in Wirklichkeit über lange Strecken seiner Geschichte ganz und gar nicht war. Und doch gibt es Elemente, Weltbildkonstruktionen, welche lange wirken und bis in die Gegenwart lebendig geblieben sind. Das „alte China“ klingt immer noch nach. So wurde – und ich folge hier der zusammenfassenden Darstellung von Achim Mittag<sup>15</sup> – die Ökonomie zunächst mit dem aus zwei Zeichen zusammengesetzten Wort *shihuo* (wörtl. „Speisen und Waren“) bezeichnet. Es ist die seit dem 1. Jh. n. Chr. gängige Bezeichnung der ökonomischen Sachabhandlungen in den Dynastiegeschichten sowie der ersten von acht Großrubriken in der großen historischen Sachenzyklopädie *Tongdian* 通典 („Durchgängige Zusammenstellung der Grundlagen des Staatswesens“, 9. Jh.). Dabei kam im Diskurs der Literatenbeamten dem Begriff der Wirtschaftsethik, dem der Ausdruck *jingshi jimin* 经世济民 (wörtl. „die Welt ordnen und Abhilfe für das darbende Volk schaffen“) am nächsten kommt, seit der Ming-Zeit (1368–1644) eine zunehmend größere Bedeutung zukam. So gingen etwa die ersten zwei Zeichen, *jingshi*, in den Titel einer 1638 zusammengestellten Kompilation von Denkschriften und regierungsamtlichen Schreiben zu Ackerbau, Handel, Gewerbe und Bergbau ein (*Ming jingshi wenbian* 明经世文编), durch die ein eigenes Genre des staatswissenschaftlichen Schrifttums begründet wurde. Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts wurde für die Übersetzung des westlichsprachigen Begriffs „Wirtschaft“ aus dem 1. und 3. Zeichen des Ausdrucks *jingshi jimin* der heute gängige Terminus *jingji* 经济 geprägt; davon leitet sich auch der für „Wirtschaftsethik“ gebräuchliche Begriff *jingji lunli* 经济伦理 her.

Auch wenn die konfuzianische Ethik, so weiter Achim Mittag, mit der brüskten Ablehnung von Profit und eigennützigem Gewinnstreben (*li* 利 bzw. *sili* 私利) in Verbindung gebracht wird, waren doch in China seit jeher Wohlstand und Reichtum (*fu* 福) nicht nur eine gesellschaftlich vollauf legitimierte individuelle Glücksvorstellung, sondern wurden auch als Garant für Sittlichkeit und Moralität angesehen: „Nur wenn die Getreidespeicher voll sind, kann das Volk die Riten achten, und nur wenn es genug zu essen und genügend zum Anziehen hat,

<sup>14</sup> Siehe Helwig Schmidt-Glintzer, China. Vielvölkerreich und Einheitsstaat. München 1997.  
– Siehe seither auch: Helwig Schmidt-Glintzer, Reich und Gesellschaft in China. Die Geschlossenheit einer offenen Welt, in: Saeculum, Band 55 (Jahrgang 2004) 2. Halbband, S.157–174. [Herbert Franke zum 90. Geburtstag]

<sup>15</sup> Ich folge hier im wesentlichen und an einigen Stellen wörtlich den Ausführungen von Achim Mittag in der Enzyklopädie der Neuzeit, Stw. *Wirtschaftsethik*.

wirken bei ihm die Triebfedern des Ruhms und der Schande. Riten kommen zur Geltung, wenn Besitz vorhanden ist, und sie werden in Zeiten des Mangels verworfen“.

Daher bemaß sich im konfuzianischen Verständnis eine erfolgreiche Herrschaft auch immer am Wohlstand des Volkes.<sup>16</sup> Dieses wiederum blieb angehalten, sich über sein Verhalten Rechenschaft abzugeben und sich regelmäßiger Selbstprüfung zu unterwerfen. Inzwischen sind andere Elemente hinzugetreten, sowohl Formen moderner totalitärer Bewusstseinslenkung als auch die sich an die Traditionen einer protestantischen Wirtschaftsethik anlehrende zunehmend zahlreichere Zahl von Anhängern der Christlichen Lehre in China.<sup>17</sup>

### Vertrauen

Für die Währungen war, ich sagte es, Vertrauen die entscheidende Basis. So wird im *Zhuogenglou* von einem Berater Khubilai Khans, Liu Bingzhong 劉秉忠 (1216–1274), folgendes Gespräch berichtet: „...Shizu fragte einstmals den Reichsverweser Liu Bingzhong nach dem (Wesen von) Münzen und Papiergeld. Er antwortete: „Münzen gebraucht man im Yang, papiergeld gebraucht man im Yin. China ist eine südliche und helle (yang-)Gegend, die Sandwüsten sind ein nördlicher und dunkler (yin-)Landstrich. Nun haben Euer Majestät in der Sandwüste den Aufstieg zum Herrschertum genommen, und sind dann als Herr herabgekommen in das chinesische Reich. Somit ist es schicklich, Papiergeld zu verwenden, so dass die Generationen der Söhne und Enkel es beibehalten. Wenn aber Münzen in Gebrauch genommen werden, wird es im Reich dazu kommen, dass Unruhe herrscht.“<sup>18</sup>

Tatsächlich ist Vertrauen eine Schlüsselkategorie in China. Dies gilt erstaunlicherweise bis heute, wo wir entgegen den üblichen Erwartungen bei politischen Systemen dieser Art ein hohes Maß an Vertrauen in die staatlichen Organe und damit auch in die Kaufkraft des Geldes vorfinden.<sup>19</sup> Die in einer Züricher sozialwissenschaftlichen Doktorarbeit dargestellten Ergebnisse von Umfrage-

<sup>16</sup> Siehe auch Helwig Schmidt-Glintzer, *Wohlstand, Glück und langes Leben. Chinas Götter und die Ordnung im Reich der Mitte*. Frankfurt/Main 2009.

<sup>17</sup> Siehe zum Beispiel Katrin Fiedler, *Wirtschaftsethik in China am Fallbeispiel von Shanghai Protestanten. Zwischen Marx und Mammon*. Hamburg 2000. – Siehe auch die Beiträge in *Journal of Current Chinese Affairs/China aktuell* 40,2 (2011).

<sup>18</sup> Herbert Franke, *Geld und Wirtschaft in China unter der Mongolenherrschaft. Beiträge zur Wirtschaftsgeschichte der Yüan-Zeit*. Leipzig 1949, S. 37.

<sup>19</sup> Zum Zusammenhang von Geld und Vertrauen siehe auch den Beitrag von Otmar Issing, *Geld und Vertrauen: Geld und Geist – Geld oder Geist*, in: Anette Kehnel (Hrsg.), *Kredit und Vertrauen*. Frankfurt/Main 2010, S. 17–27.

ergebnissen aus China,<sup>20</sup> begründen die Feststellung, dass im „World Values Survey“ für die Volksrepublik China „ein selbst im internationalen Vergleich deutlich höheres Vertrauensniveau gemessen“ wird.<sup>21</sup> Dieser in China gewonnene Befund widerspricht der allgemeinen Annahme, dass „die Höhe des Vertrauensniveaus in einem Land eng mit der Anzahl von Jahren korreliert ist, in denen demokratische Institutionen in der jeweiligen Gesellschaft erfolgreich vorhanden waren“. Wir müssen davon ausgehen, dass standardisierte kulturvergleichende Befragungen im internationalen Kontext gleichwohl irreführend sein können. Bei näherer Betrachtung von der Facetten des chinesischen Vertrauensbegriffs erscheint das in ländlichen Sozialstrukturen gewonnene Modell des „differential mode of association“ des Begründers der chinesischen Soziologie, Fei Xiaotong (1910–2005), trotz einer Relativierung hinsichtlich der inzwischen erfolgten starken Urbanisierung und der Einbindung Chinas in internationale Regelungen, etwa der WTO, weiterhin eine Rolle zu spielen.<sup>22</sup> Von Bedeutung ist ferner der Umstand eines erst im Laufe der Geschichte der Volksrepublik sich verändernden Vertrauensverhältnisses selbst bürgerlicher Kreise zu dem politischen System der Volksrepublik. Insgesamt kommt der Verfasser zu dem Ergebnis, dass trotz einer auch in China gesteigerten Vertrauenskrise nicht nur eine auf die geschichtlichen Erfahrungen der Volksrepublik China bezogene diachrone Differenzierung unerlässlich ist, sondern dass auch kulturessentialistische Gegenüberstellungen etwa von China einerseits und dem Westen andererseits leicht in die Irre führen.<sup>23</sup>

Der in China nach dem Ende der mit großen Enttäuschungen verbundenen Veränderungsprozesse der Kulturrevolution vor mehr als drei Jahrzehnten einsetzende und von der Kommunistischen Partei Chinas und der Zentralregierung betriebene Reformkurs scheint zu einem erstaunlich hohen Maß an Vertrauen und Legitimität geführt zu haben.<sup>24</sup> Zugleich haben inzwischen die Folgen neoliberaler Wirtschaftsentwicklung wie extreme Armuts-Reichtums-Differenz und unkontrollierte Immobilienmärkte in vielen Segmenten erneut zu rapidem Vertrauensverlust geführt. Dennoch scheinen gerade auch unter dem Aspekt der Legitimität des politischen Systems und der Rolle eines Mindestmasses an Vertrauen zumindest in bestimmten sozialen Teilsystemen die gegenwärtigen politischen Diskussionen in China weniger auf einen drastischen Machtwechsel als

---

<sup>20</sup> Dominik Linggi, *Vertrauen in China. Ein kritischer Beitrag zur kulturvergleichenden Sozialforschung*. Wiesbaden 2011.

<sup>21</sup> Ebd. S. 12.

<sup>22</sup> Ebd. S. 232.

<sup>23</sup> Ebd. S. 236.

<sup>24</sup> Ebd. S. 241.

vielmehr auf eine Machtverschiebung hin zu einem Mehrfraktionen- oder auch Mehrparteiensystem innerhalb eines am Gemeinwohl orientierten sozialistischen Werterahmens zu deuten. Dieser Prozess dürfte sich auch in den weiteren Reformulierungen der Verfassung der Volksrepublik China niederschlagen.<sup>25</sup> Die zunehmende Abhängigkeit der Volkswirtschaft Chinas von den Weltmärkten und die Einbindung des chinesischen Finanzsystems in die globalen Finanzmärkte bergen jedoch zunehmende Risiken für die Fortsetzung des bisher überaus erfolgreichen gradualistischen Reformprozesses.

Zu solchen Risiken zählt auch das Verhalten der neuen Geldelite, von der die Süddeutsche Zeitung unter der Überschrift „Nichts wie weg“ berichtete: „Fast die Hälfte aller chinesischen Millionäre wollen auswandern. Sie treibt Angst vor dem Verlust ihres Vermögens“.<sup>26</sup>

### III. Marco Polo und die Frage der Globalisierung

#### Die Zeit Marco Polos, Kulturtransfer und Pax Mongolica

Die Mongolenherrschaft hatte den Kulturaustausch begünstigt. Dies hängt auch mit der von Bernard Lewis betonten Ambiguität nomadischer Kulturen zusammen: „the nomads destroyed some cultural resources and at the same time created conditions in which long-distance cultural exchange flourished“.<sup>27</sup> Ein wesentliches Element bei diesem Kulturaustausch wurde durch den Umstand begründet, dass die mongolische Gesellschaft aufgrund ihrer nomadischen Wirtschaftsform mit wenigen Menschen eine große Zahl von Weidetieren auf großen und zum Teil wechselnden Arealen zu versorgen hatte. Daher und wegen mangelnder eigener Expertise waren die Mongolen zur Sicherung eines größeren Herrschaftsgebietes auf die Unterstützung durch Angehörige fremder Völker angewiesen. So wurden sie selbst schnell zu einer Minderheit in ihrem eigenen Territorium, ein Umstand, dem sie in China mit der bekannten Klassifizierung der Bevölkerung in Mongolen (1), Zentral- und Westasiaten (2), Nord-

<sup>25</sup> Zur Verfassung in China siehe meine Ausführungen in China. Eine Herausforderung für den Westen. Plädoyer für differentielle kulturelle Kompetenz. Wiesbaden 2011. – Siehe auch Helwig Schmidt-Glintzer, Der Mensch in Harmonie zwischen Himmel und Erde. Verfassungen in China in Vergangenheit und Gegenwart, in : Franz-Josef Arlinghaus, Bernd Ulrich Hucker, Eugen Kotte (Hg.), Verfassungsgeschichte aus nationaler und diachroner Perspektive. München 2010, S. 15–33.

<sup>26</sup> Marcel Grzanna, Nichts wie weg. Fast die Hälfte aller chinesischen Millionäre wollen auswandern. Sie treibt die Angst vor dem Verlust ihres Vermögens, in: Süddeutsche Zeitung Nr. 252 (2. November 2011), S. 26.

<sup>27</sup> Siehe Thomas T. Allsen: Culture and Conquest in Mongol Eurasia. Cambridge 2001, S. 5.

chinesen (3) und Südchinesen (4) Rechnung trugen. Im Zusammenhang mit einer 'Quotenregelung' kam es zu einer geplanten systematischen Vermischung von Personen ganz unterschiedlicher kultureller und sozialer Herkunft.

Bei dieser Dynamik des Kulturaustauschs ist auch die lange Vorgeschichte des Austausches Chinas mit dem Iran zu sehen,<sup>28</sup> einschließlich der wechselseitigen Wahrnehmungen über die Handels- und Religionsbeziehungen (Zoroastrismus, Manichäismus, Judentum und Christentum) bis hin zu den intensiveren Austauschbeziehungen und der Anwesenheit persischer Bevölkerungsgruppen im chinesischen Reich der Zeit um die erste nachchristliche Jahrtausendwende. Zu einer Darstellung der politischen und wirtschaftlichen Beziehungen gehört daher die Beschäftigung mit vermittelnden Personen wie Marco Polo und oder dem jüdischen Iraner, dem Staatsmann und Historiker Rashîd ad-Dîn (1247–1318).

Bemerkenswert auch ist die These, die Mongolen hätten nach „ihrem Jahrhundert“ ihre Rolle an das seefahrende Europa abgegeben: „The Mongolian Empire functioned, therefore, as the principle cultural clearing house for the Old World for well over a century. And when it declined and disintegrated, it was gradually replaced by maritime Europe which in time came to perform similar offices for the Old World and the New.“<sup>29</sup> Man wird erinnert an die These Immanuel Wallersteins, der in einer seiner Arbeiten zur Theorie der Entstehung der Moderne vier Erklärungsansätze in Form von 'Zusammenbrüchen' als Voraussetzungen für die Entstehung des modernen rationalen Kapitalismus nennt.<sup>30</sup> Einer der Zusammenbrüche, neben den Zusammenbrüchen der Feudalherren, der Staaten und der Kirche ist danach der Zusammenbruch des Mongolenreiches. Entscheidend für Wallerstein ist, dass der Zusammenbruch der herrschenden Klasse nicht eine Eroberung von außen und in der Folge die Implementierung einer neuen Klasse oder Schicht zur Folge hatte, sondern dass sich die bäuerlichen Produzenten selbst weiter entfalten konnten. Dieses 'Nichtereignis' setzt er in Beziehung zum Zusammenbruch jenes Weltsystems, welches zwischen 1250 und 1350 die 'Unterregionen' China, Indien, Arabien und Persien sowie Europa durch Fernhandelsbeziehungen miteinander verknüpfte.<sup>31</sup> Durch die Einbezie-

<sup>28</sup> Siehe auch die Ausführungen in dem Kapitel „Before the Mongols“ bei Thomas T. Allsen, op.cit., S. 8–14.

<sup>29</sup> Thomas T. Allsen, op.cit., S. 211.

<sup>30</sup> Immanuel Wallerstein, *The West, capitalism, and the modern world-system*, in: Timothy Brook and Gregory Blue, eds., *China and Historical Capitalism. Genealogies of Sinological Knowledge*. Cambridge 1999, p.10–56, bes. p. 43ff.

<sup>31</sup> Wallerstein bezieht sich auf eine Arbeit von Janet L. Abu-Lughod, *Before European Hegemony: The World System 1250–1350*. New York 1989, S.336.

hung der Mongolei habe es eine 'Nordroute' gegeben, durch die eine bereits während der Römischen Zeit bestehende Beziehung zwischen China und Rom wieder aktiviert worden sei. Dieses lebendige Fernhandelssystem sei durch die Pest gestört worden, die im zweiten Drittel des 14. Jahrhunderts ausbrach. Freilich habe es auch andere Gründe für den Niedergang des Mongolenreiches gegeben, insbesondere die mangelnde Fähigkeit, ein Weltreich auf Dauer zu verwalten. Die Konsequenz war, dass Europa trotz erheblicher innerer Schwäche im 14. und 15. Jahrhundert von außen nicht behelligt wurde.

Die Zeit des europäischen Mittelalters war geprägt von dynamischem Kulturaustausch zwischen dem fernen und dem mittleren Osten, der dann von Westeuropa aus überformt wurde und neue Dimensionen erreichte. Die folgende, gemeinhin als „Frühe Neuzeit“ bezeichnete Epoche bescherte China eine Reihe fundamentaler Währungskrisen.<sup>32</sup> Seit dem 14. Jahrhundert war das Bronze- geld weitgehend von Silber abgelöst worden, dessen Menge im „Silbernen Jahrhundert“ 1550–1650 durch ausländisches Silber enorm zunahm. Am Ende des 18. Jahrhunderts verdrängten die in Mexiko geprägten Spanischen Silberdollars in den Küstenprovinzen Chinas die einheimische Währung.

Damit sind wir bei dem Thema „Globalisierung“,<sup>33</sup> zu dem der internationale Silberhandel des 15. und 16. Jahrhunderts<sup>34</sup> ebenso gehören wie der Übersee- handel und die Entwicklung von Weltkarten, und zwar nicht nur der europäischen Karten,<sup>35</sup> sondern auch die Karten anderer Länder. Denn für unser heutiges Verständnis von China ist es hilfreich zu sehen, dass der Übergang zur Silberwährung in China mit der Integration Chinas in globale Handelsströme einherging. Der Silberbedarf in China wirkte dabei stimulierend, so dass man für diese Zeit bereits sagen kann, „the Chinese economy reshaped the vectors of international trade.“<sup>36</sup> Eine nicht unwichtige Rolle spielte dabei auch die am Ende des 16. Jahrhunderts durchgeführte Ersetzung der Dienstleistungspflichten durch Steuerabgaben. Die Folge war eine stärkere Monetarisierung der Wirtschaft Chinas. Die zusätzlichen Faktoren Bevölkerungszahl und Urbanisierung sollen hier nur angesprochen werden. Von 1500 bis 1600 erlebte China Bevöl-

<sup>32</sup> Richard von Glahn, *Money in China and Changing Patterns of Global Trade in Monetary Metals, 1500–1800*, in: Dennis O. Flynn, Arturo Giráldez and Richard von Glahn, *Global Connections and Monetary History, 1470–1800*. Aldershot 2003, S. 187–205, hier S. 187.

<sup>33</sup> Siehe hierzu Ulrich Menzel, *Tausend Jahre Globalisierung im Rückblick aus der aktuellen Globalisierungsdebatte*, in: Helwig Schmidt-Glintzer, Hrsg., *Neue Blicke auf Alte Karten und die Dynamik der europäischen Kulturgeschichte*. Wiesbaden 2007, S. 137–209.

<sup>34</sup> Richard von Glahn, *Fountains of Fortune* .....

<sup>35</sup> Christian Heitzmann, *Europas Weltbild in alten Karten*. Wiesbaden 2006.

<sup>36</sup> Richard von Glahn, *Money in China* ....., S.188.

kerungswachstum, anschließend wieder einen Bevölkerungsrückgang, bei nur moderaten Preissteigerungen, während die Urbanisierung – je nach Region – zwischen 5 und 7,5 Prozent betrug. Das 17. Jahrhundert war eine Zeit der Unruhe, und in den letzten Jahrzehnten eine Zeit der Deflation.

Erst im 18. Jahrhundert kam es zu einer rapiden Bevölkerungsvermehrung; dies begünstigte die Verbreitung arbeitsintensiver Agrarwirtschaft insbesondere in Südost-China. Die wachsende Wirtschaft bedurfte daher wieder einer zunehmenden Monetarisierung, für die wieder neben der Silberwährung eine Bronzewährung eingeführt wurde,<sup>37</sup> was auch in einem abnehmenden Silberimport seinen Grund hatte. Wir sehen bei der Betrachtung solcher Wirtschafts- und Währungszyklen, dass die Vorgeschichte der mit dem Zeitalter des europäischen Imperialismus verbundenen Opiumkriege komplexer ist als vielfach angenommen. Hier ist vielleicht auch die Tatsache bemerkenswert, dass China während seines „Silbernen Jahrhunderts“ einen großen Teil der Silbereinfuhr durch massive Ausfuhr von Gold ausglich.<sup>38</sup> Das 18. Jahrhundert war also eine Zeit des Wohlstands und der Prosperität in China, auch wenn es nicht wirklich gelang, einen integrierten Markt zu gestalten. Angesichts dieser Erfahrungen von Prosperität, von Zyklen von Wachstum und Schrumpfung und in der Erinnerung an den Niedergang im 19. Jahrhundert und an die revolutions- und reformbedingten Rückschläge im 20. Jahrhundert schickt sich China heute an, einen aktiveren Part im Weltwährungs- und Welthandelssystem zu spielen.

Vor dem Hintergrund eines neuen Verständnisses von Modernisierung, welches Shmuel Eisenstadt mit dem Begriff der „multiple modernities“ kennzeichnete, will ich mich an dieser Stelle gar nicht erst auf die ideologischen Gefechte einlassen, die heute in Europa und den USA von Publizisten wie Mathias Döpfner oder Ian Bremmer angefacht werden. Wenn Mathias Döpfner vor dem chinesischen Staatskapitalismus warnt und von einer „totalitären Marktwirtschaft“<sup>39</sup> spricht und Ian Bremmer von einem „ungleichen Kampf zwischen Staatsunternehmen und Privatwirtschaft“,<sup>40</sup> dann tut vor allem letzterer so, als gelte es, das Gute gegen das Böse zu verteidigen.

Eine nähere Betrachtung der Wirtschaftsgeschichte Chinas zeigt hingegen, dass der Staatsbildungsprozess und die Kontrolle des Wirtschaftshandelns, vergli-

<sup>37</sup> Richard von Glahn, op.cit., S. 193–194.

<sup>38</sup> Ebd. S. 197.

<sup>39</sup> Mathias Döpfner, Die Freiheitsfalle schnappt lautlos zu, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung Nr. 246 (22. Oktober 2011), Z 3; Vorabdruck aus seinem Buch: Die Freiheitsfalle – Ein Zwischenruf. Berlin 2011.

<sup>40</sup> Ian Bremmer, das Ende des freien Marktes. Der ungleiche Kampf zwischen Staatsunternehmen und Privatwirtschaft. München 2011.

chen mit Europa, eine gänzlich andere Geschichte hat. Angesichts der noch keine hundert Jahre dauernden Tendenz zu einer stärkeren Zentralisierung Chinas – ich erinnere an die erst mit Sun Yatsen eingeführte nationale Einheitsarmee<sup>41</sup> und das etwa gleichzeitig begonnene moderne Bankensystem – ist die Gleichsetzung von China mit Staatswirtschaft eine unzulässige Vergröberung. Solche Vereinfachungen scheinen vielmehr eher kontraproduktiv in einer Zeit, in der die Stabilität vieler Währungssysteme gefährdet erscheint und in der Auseinandersetzungen über Zugänge zu Rohstoffen, Märkten und Lebens- und Wohlstandschancen eher noch bevorstehen und keinesfalls als abgeschlossen gelten können. So ist bis heute nicht abschließend geklärt, welche Investition die langfristig lohnendste ist.

Die „Rettung“ der Euro-Zone durch China, welches mit 2,4 Billionen Euro zu Beginn des zweiten Jahrzehnts des 21. Jahrhunderts über die größten Devisenreserven der Welt verfügt, zu großem Anteil angelegt in US-Staatsanleihen, könnte der Globalisierung eine neue Dimension verleihen. Der „Preis“ für ein stärkeres Engagement Chinas in Euro-Anleihen wäre die Anerkennung Chinas als Marktwirtschaft, womit viele noch bestehende Handelsschranken fielen. Angesichts des bestehenden Handelsvolumens (2010 kauften die 27 EU-Länder in China Waren in Höhe von 282 Milliarden Euro) sollte dieser Preis nicht zu hoch sein.<sup>42</sup>

Worauf es jedoch vor allem ankommt, ist die Etablierung weltweiter und zugleich offener Konsultations- und Vertragsstrukturen, deren verbindliches Basisziel der Wohlstand für die ganze Menschheit und Gerechtigkeit sein müssen. Nach unserem Verständnis – und ich füge hinzu: nach modernem Verständnis, setzt dies eine kritische Öffentlichkeit voraus sowie Eliten, die sich an den von ihnen vertretenen Prinzipien selbst messen lassen.

---

<sup>41</sup> Allerdings war es bereits nach 1901 zur Einführung einer regulären Armee im westlichen Sinne (der sog. Lujun, wörtl. Landarmee) gekommen.

<sup>42</sup> Siehe Catherine Hoffmann, Chinesische Versuchung. Peking könnte Europa mit seinen Billionen Dollar Devisenreserven retten. Doch der Preis wäre hoch, in: Süddeutsche Zeitung Nr. 247 (26. Oktober 2011), S. 17.



## Klassensitzungen

### Probleme und Forscher aus der geometrischen Funktionentheorie\*

KARL-JOACHIM WIRTHS

Im Unterdorf 14 A, D-38527 Meine-Abbesbüttel

Dieser Vortrag soll mein Forschungsgebiet, die geometrische Funktionentheorie, an zwei ausgewählten Beispielen vorstellen. Damit die Mathematik nicht zu trocken daherkommt, habe ich solche Probleme ausgesucht, deren Namen mit Forschern verbunden sind, über die man auch ein wenig Interessantes Persönliches erzählen kann. Gleichzeitig werde ich die Gelegenheit nutzen einige Forschungsergebnisse unseres Institutes ansatzweise darzustellen.

Wir sind in der glücklichen Lage für unsere Wissenschaft eine Geburtsurkunde vorweisen zu können. Und die steht auch noch in besonders enger Beziehung zu Niedersachsen. Die geometrische Funktionentheorie entstand aus den revolutionären Ideen von Bernhard Riemann in seiner Dissertation. Zunächst ist ja sicher bekannt, dass Bernhard Riemann in Breselenz im Wendland geboren wurde. Man kann dort seit ein paar Jahren auch ein Denkmal für dieses Ereignis bewundern und mir wurde erzählt, dass sich die Kollegen der Hannoveraner Mathematik damals sehr verdient gemacht haben um die Aufstellung dieses Denkmals.

Die Dissertation von Riemann trug den Titel „Grundlagen für eine allgemeine Theorie der Functionen einer veränderlichen complexen Größe“ und wurde am 14. November 1851 bei der philosophischen Fakultät der Universität Göttingen eingereicht. Worum geht es?

Von Gauß, über den ich hier ja Nichts erzählen muss, stammte der Vorschlag die komplexen Zahlen aufzufassen als Punkte  $z = x + iy$  der Ebene, der Gaußschen Zahlenebene, womit er den komplexen Zahlen „das Bürgerrecht im Reich der Mathematik“ verschaffte, wie der Braunschweiger Bürgermeister anlässlich seines goldenen Promotionsjubiläums gesagt haben soll. Riemann war dann der Erste, der systematisch Funktionen von komplexen Veränderlichen mit kom-

---

\* Der Vortrag wurde am 11.02.2011 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

plexen Werten  $w = f(z)$ , also Abbildungen aus einer komplexen Ebene in eine andere, untersuchte. Dabei stellte er die Funktion  $f(x + iy) = u(x, y) + iv(x, y)$  als Summe ihres Realteils  $u$  und ihres Imaginarteils  $v$  dar, charakterisierte die holomorphen Funktionen durch die Cauchy-Riemannschen Differentialgleichungen  $u_x = v_y, v_x = -u_y$  und formulierte in seiner oben erwähnten Thesis den Riemannschen Abbildungssatz, der zur Grundlage der geometrischen Funktionentheorie wurde. Im Wesentlichen sagt dieser Satz, dass sich zwei einfach zusammenhängende offene Gebiete der Ebene durch eine umkehrbare holomorphe Funktion aufeinander abbilden lassen. Die Abbildungsfunktion ist eindeutig bestimmt durch die Vorgabe eines Urbildpunktes mit seinem Bildpunkt und die Bedingung, dass die komplexe Ableitung im vorgegebenen Urbildpunkt positiv ist.

Über das weitere Schicksal dieser Promotion berichtet mit Kopien der Originalurkunden ein Bericht von Herrn Remmert im *Mathematical Intelligencer*, dem „Goldenen Blatt“ der Mathematiker (siehe [12]).

Darin findet sich sowohl der Brief des Dekans, des Professors Ewald, an Carl Friedrich Gauß, in dem er sehr untertänig um die Bewertung dieser Dissertation bittet und die Antwort von Gauß, der die Dissertation zwar lobt, sich im Wesentlichen aber über die für ihn möglichen Zeitpunkte der Verteidigung auslässt. Vielleicht sollte man noch ergänzen, dass der Herr Dekan, der hier so respektvoll mit dem alten Gauß korrespondiert, sein Schwiegersohn war. Herr Ewald gehörte zu den berühmten „Göttinger Sieben“, die wegen ihres Protestes 1837 aus der Göttinger Universität verwiesen wurden. Daher erscheint es verwunderlich, dass Ewald 1851 Dekan in Göttingen war. Weniger bekannt ist, dass es eine Rückholaktion gab und diese im Fall von Ewald und im Fall des mit Gauß zusammenarbeitenden Physikprofessors Weber Erfolg hatte.

Zu der Geschichte des Riemannschen Abbildungssatzes ist zu sagen, dass es an Riemanns Beweiseideen zunächst berechtigte Kritik von Weierstrass gab. Es dauerte rund ein halbes Jahrhundert, bis die Beweise dieses Satzes eine mathematisch befriedigende Form gefunden hatten. Diese Ideen sind mit so berühmten Namen wie Hilbert und Carathéodory, Montel und Vitali, Fejér und Riesz verknüpft und deren Geschichte ist einen eigenen Vortrag wert. In den 20er Jahren des vorigen Jahrhunderts war die Sache zu aller Zufriedenheit abgeschlossen. Das war auch die Zeit, in der die Entwicklungen begannen, über die ich im Folgenden berichten möchte.

Wir verdanken Weierstrass einen zweiten Zugang zu der Theorie der holomorphen Funktionen, der darin besteht, dass sich jede holomorphe Funktion in der Nähe eines Punktes  $z_0$ , in dem sie holomorph ist, in eine Taylorreihe entwickeln lässt. Diese Reihentwicklung stellt die Funktion in dem größten Kreis, in dem sie holomorph ist, dar. Wenn man das zusammen mit dem Riemannschen Abbildungssatz sieht, schließt sich folgender verlockender Gedankengang an:

Man nehme einen Kreis, z.B. den sogenannten Einheitskreis  $\mathbb{D} = \{z \mid |z| < 1\}$ , der traditionell inzwischen mit  $\mathbb{D}$  von „disc“ bezeichnet wird, und die Reihenentwicklungen aller hierin umkehrbaren holomorphen Funktionen. Dann beherrscht man, geometrisch gesehen, alle einfach zusammenhängenden Gebiete der Ebene. Das stellte sich als ein Langzeitprogramm heraus.

Zunächst kann man sich darauf beschränken einfach zusammenhängende Gebiete bis auf Verschiebungen und Drehstreckungen zu betrachten. Das bedeutet, dass man ohne Beschränkung der Allgemeinheit der Betrachtungen  $f(0) = f'(0) - 1$  voraussetzen kann. Man betrachtet also die im Einheitskreis konvergenten und diesen umkehrbar abbildenden Potenzreihen

$$f(z) = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n.$$

Der Erste, der die funktionentheoretisch schwierige Bedingung der Umkehrbarkeit in den Griff bekam, war Ludwig Bieberbach 1916. Er bewies, dass in diesem Fall stets  $|a_2| \leq 2$  gilt, dass die durch diese Ungleichung charakterisierten Zahlen alle als zweite Koeffizienten vorkommen und, was das Wichtigste war, dass z.B.  $a_2 = 2$  nur für die so genannte Koebe-Funktion

$$f(z) = \frac{z}{(1-z)^2} = z + \sum_{n=2}^{\infty} n z^n$$

eintritt. Und dann äußerte er in einer Fußnote (siehe [6]) eine Vermutung, die dann lange Zeit als Bieberbachsche Vermutung die Funktionentheoretiker zu immer raffinierteren Theorien anspornte, weil sie einfach zu schön war. *Unter den obigen Bedingungen ist stets  $|a_n| \leq n$  und  $a_n = n$  tritt nur für die Koebe-Funktion ein.*

Damals war Bieberbach Professor in Berlin und seine Schüler und Assistenten beschäftigten sich natürlich mit der Vermutung des Chefs. Einer von diesen war Helmut Grunsky, den ich während einer Lehrstuhlvertretung in Würzburg noch als Emeritus gut kennen gelernt habe. Er erzählte mir, dass ein Assistent von Bieberbach, Karl Löwner, eines Tages ganz aufgeregt zu ihm gekommen sei und ihm sagte, er habe eine Differentialgleichung entdeckt, durch die man im gewissen Sinne die im Einheitskreis umkehrbaren holomorphen Funktionen charakterisieren könne und damit würde er in ganz kurzer Zeit den Beweis der Bieberbachschen Vermutung erbringen. Das glückte ihm zwar im Falle des dritten Koeffizienten, aber dann war Schluss. Das war im Jahre 1923 und vor dem zweiten Weltkrieg wurde auch kein weiterer Koeffizient geknackt.

An dieser Stelle will ich ein wenig über das Schicksal der erwähnten Mathematiker berichten. Bieberbach wurde zu einem glühenden Verehrer des Na-

tionalsozialismus und gründete eine mathematische Zeitschrift, die „Deutsche Mathematik“. Für seine Prominenz in dieser Zeit habe ich ein kleines handfestes Zitat. Mein Vater hat mir in seiner Büchersammlung den Schinken „Deutsche Saat in fremder Erde“ hinterlassen. Dies Buch erschien 1936 und Bieberbach durfte darin „Die deutsche Leistung in der Mathematik“ loben. Ich zitiere daraus nur einen Satz um ihn in seiner vergleichsweise milden Diktion in Beziehung zu setzen zu einem gleich zu zitierenden Brief Biberachs. Er schreibt hier: *Bekannt auch, dass der Eintritt des jüdischen Volkes in die Wissenschaft in dem Augenblick beginnt, da die Emanzipation anfangt, dasselbe von dem Gefühl der Minderwertigkeit zu entlasten.*

Nach dem zweiten Weltkrieg bekam Biberach wegen seines nationalsozialistischen Engagements in Deutschland keine Professur mehr und verlegte sich auf das Verfassen vieler guter mathematischer Bücher. Helmut Grunsky musste Ende der dreißiger Jahre schlechtbezahlt seinen Lebensunterhalt als Redakteur bei dem Referatenorgan „Fortschritte der Mathematik“ fristen. Er zeigte in dieser Eigenschaft damals beachtliche Zivilcourage, als er entgegen den Weisungen Bieberbach lange jüdische Referenten beschäftigte. Der Brief von Bieberbach an Grunsky, der sich darauf bezieht, stammt aus dem Jahr 1938 und zeigt die Radikalisierung doch recht deutlich (siehe [13]). Darin heißt es: *Die Durchsicht der bisher erschienenen Hefte des Jahrgangs 1936...zeigt eine große Zahl an Juden vergebener Referate....Ich betone erneut, dass Sie Ihren Referententab nach den Richtlinien zusammensetzen müssen, die seit dem 30. Januar 1933 für jeden Deutschen verbindlich sind. Sie laufen jedenfalls Gefahr, dass Ihr Handeln als mangelnder politischer Instinkt ausgelegt werde.*

Karl Löwer war beim Einmarsch der deutschen Truppen in Prag dort Professor, wurde wegen seiner jüdischen Herkunft sofort verhaftet, konnte aber durch Zahlung einer großen Summe die Ausreise für sich und seine Familie erreichen und brachte es in Amerika zum Professor in Stanford.

Auf den Arbeiten von Helmut Grunsky basierte der in den 50er Jahren gefundene Beweis für den vierten, der in den 60er Jahren gefundene Beweis für den sechsten und der in den 70er Jahre gefundene Beweis für den fünften Koeffizienten.

Dann jedoch war die Zeit reif für den endgültigen Beweis von Louis de Branges in den 80ern, den er in Zusammenarbeit mit den Russen Lebedev und Milin fand. Ich hatte damals die Freude Herrn de Branges, einen sehr sympathischen Mathematiker, einen Tag lang durch die Sehenswürdigkeiten Würzburgs zu führen und ihn ein wenig persönlich kennen zu lernen. Er ist, das deutete sich damals schon an, eine ein wenig tragische Gestalt. Er war von Hause aus kein Funktionentheoretiker, sondern die Erkenntnisse, die ihn zu dem Beweis führten, kamen aus der Funktionalanalysis. Es ist dazu zu sagen, dass sein Beweis eigentlich dann erst allgemein anerkannt wurde, als Funktionentheoretiker ihn

so reduzierten, dass schon Bieberbach ihn hätte verstehen können. De Branges erzählte mir damals, dass der Springer-Verlag ihn gebeten hätte ein Buch über seinen Beweis zu schreiben, ihn aber aufgefordert habe den Beweis von aus seiner Sicht wichtigen funktionalanalytischen Sachverhalten zu befreien. Das habe er empört abgelehnt. Seine Arbeit aus den *Acta Mathematica* darüber wird in diesem Zusammenhang zwar immer zitiert, aber die in den Lehrbüchern benutzten Beweise stammen nur auf Umwegen daher. Seine Tragik setzt sich bis heute fort, da er und auch Schüler von ihm beharrlich im Internet Beweisideen zu der berühmten Riemannschen Primzahlvermutung veröffentlichen, die, bis jetzt jedenfalls, von der Fachwelt abgeschmettert wurden. Man sollte dazu wissen, dass diese Vermutung zu den Problemen gehört, deren Lösung von der American Mathematical Society mit der Zahlung von einer Million Dollar honoriert wurde. De Branges war von einer seiner Lösungen so überzeugt, dass er schon den ja durchaus ehrenwerten Verwendungszweck dieser Million angab. Er wollte das in der französischen Revolution zerstörte Schloss seiner Vorfahren als mathematisches Tagungszentrum wieder aufbauen.

Bei der Euphorie über das gelöste Problem geriet ein wenig aus dem Blickfeld, dass er viel mehr bewiesen hatte, nämlich die Rogosinski-Vermutung: *Man nehme das Bild, dass eine wie eben normierte umkehrbare holomorphe Funktion vom Einheitskreis entwirft und betrachte irgendeine im Einheitskreis holomorphe Funktion, die Null auf Null abbildet und deren Bild des Einheitskreises in dem eben erwähnten Bild liegt. Dann gilt für die Taylorentwicklung dieser Funktion im Nullpunkt ebenfalls  $|a_n| \leq n$ .*

Die Frage, ob etwas ähnlich Schönes wie die Bieberbach-Rogosinski Abschätzung herauskommt, wenn man einige der Vorgaben fallen lässt, die hier gemacht wurden, treibt meinen Freund Farit Avkhadiyev aus Kazan, der seit mehr als zehn Jahren fast jedes Jahr hier dank Stipendien der Deutschen Forschungsgemeinschaft arbeitet, und mich nun schon lange um. Was Schönheit ist, das liegt dabei, wie schon David Hume bemerkt hat, allerdings im Auge des Betrachters und den dürfen Sie gleich spielen. In der allgemeinsten Form sieht die Frage dann so aus:

*Man nehme zwei Gebiete  $A, B$  in der komplexen Ebene und eine in  $A$  holomorphe Funktion, bei der das Bild von  $A$  in  $B$  liegt und die einen vorgegebenen Punkt von  $A$ , genannt  $z_0$ , in einen vorgegebenen Punkt, genannt  $w_0$ , von  $B$  abbildet, sowie die Taylorentwicklung dieser Funktion in  $z_0$ . Was kann man über die Größe der Koeffizienten  $a_n(A, B, z_0, w_0)$  sagen?*

Es ist klar, dass die Abschätzungen von der Lage der Punkte abhängen müssen. Einen vernünftigen Lageparameter hat man im Falle einfach zusammenhängender Gebiete. Es ist der konforme Radius des Gebietes  $A$  in  $z_0$ , genannt  $RA(z_0)$ . Den berechnet man, indem man die nach dem Riemannschen Abbildungssatz

existierende holomorphe umkehrbare Abbildung  $\Phi$  von  $D$  auf  $A$  hernimmt, Null auf  $z_0$  abbildet und für diese  $\Phi'(0) = R_A(z_0)$  setzt. Damit sehen die Abschätzungen, wie man beweisen kann, immer so aus:

$$|a_n(A, B, z_0, w_0)| \leq C_n \frac{R_B(w_0)}{R_A(z_0)^n}$$

und für die Großen  $C_n$  bekommt man z.B. um nur einige der in unseren Augen schönsten Ergebnisse zu zitieren:

Wenn  $A$  und  $B$  einfach zusammenhängend sind, ist  $C_n \leq 4^{n-1}$ .

Wenn  $A$  einfach zusammenhängend und  $B$  konvex ist, dann ist

$$C_n \leq \binom{2n-1}{n}$$

Wenn  $A$  und  $B$  beide konvex sind, ist  $C_n < 2^{n-1}$ .

Wenn  $A$  konvex und  $B$  einfach zusammenhängend ist, ist

$$C_n \leq (n+1)2^{n-2}.$$

Die oberen Schranken werden in jedem Fall angenommen (siehe [2]). Über weitere Detailforschungen an solchen Problemen, die bei nicht einfach zusammenhängenden Gebieten zunehmend schwieriger werden, möchte ich hier nicht berichten, sondern noch einen zweiten unserem Institut am Herzen liegenden Problemkreis anschneiden.

Dabei geht es, grob gesagt, um die „Größe des Bildgebietes“  $f(\mathbb{D})$ , wenn  $f$  holomorph im Einheitskreis ist. Wie man an den Funktionen  $f(z) = az$  sieht, ist diese Frage zu naiv. Die Bilder  $f(\mathbb{D})$  sind Kreise mit dem Radius  $|a|$ , werden also beliebig klein.

Wenn man jedoch nur an einer Stelle eine Normierung, z.B.  $f'(0) = 1$  verlangt, dann enthält  $f(\mathbb{D})$  auf jeden Fall Kreise, deren Radius oberhalb einer bis heute unbekannten Schranke liegt. Ja, es befinden sich im Bildgebiete sogar schlichte Kreise, deren Radius oberhalb einer positiven Schranke liegt. Schlicht wird ein Kreis genannt, wenn in seinem Urbild unter  $f$  keine Nullstelle der Ableitung von  $f$  liegt. Diese Tatsache war eine sehr überraschende Entdeckung von André Bloch im Jahre 1924 (siehe [4] und [5]). Und diese unbekannte Schranke heißt daher die Blochsche Konstante.

Jetzt darf ich vielleicht als Erholung von der Mathematik ein wenig über das Schicksal eines der ungewöhnlichsten Mathematiker erzählen. André Bloch wurde 1893 geboren und 1914 im Ersten Weltkrieg eingezogen ebenso wie sein Bruder Georges. Beide wurden schon nach einigen Monaten schwer verwundet

und nicht mehr an die Front geschickt. 1917 ermordete André Bloch diesen Bruder, seine Tante und seinen Onkel mit einem Messer. Wegen der Kopfverletzung, die er im Krieg erlitten hatte, wurde er für nicht zurechnungsfähig erklärt und in das Irrenhaus Maison de Charenton in Paris eingeliefert. Dort verbrachte er die 31 Jahre bis zu seinem Tode 1948 vollkommen zufrieden mit sehr erfolgreichen Forschungen. Er verfasste Artikel, studierte Bücher und korrespondierte mit Kollegen. Über seine Lebensumstände wusste fast niemand Bescheid, allerdings gab es die wildesten Gerüchte. Diese Geschichte wurde auch erst in den 80er Jahren aufgeklärt, als ein amerikanischer Mathematiker in unserem oben genannten Klatschblättchen, dem „Mathematical Intelligencer“ einen Artikel mit dem Titel „Beauty and the beast: The strang case of André Bloch“ ([10]) veröffentlichte, in dem er diese sehr divergierenden Gerüchte dem Publikum zur Kenntnis gab. Das veranlasste Henri Cartan und Jacqueline Ferrand 1988 zu einer Veröffentlichung „The case of André Bloch“ ([9]) im selben Blatt, in dem sie die wahre Geschichte erzählten. Darin geben sie auch wenigstens eine Vermutung ab über das Mordmotiv. Sie stützt sich auf ein Buch eines Arztes im Maison de Charenton, in dem er ohne Namensnennung von dem „Mathematiker von Charenton“ berichtet. Er habe erzählt in seiner Familie gäbe es einen geistigen Defekt, deshalb gebiete es die Logik diese auszurotten.

Nach diesen Gruselgeschichten wieder ein wenig Mathematik:

Schwierig ist es eine untere Abschätzung für die Blochsche Konstante zu finden, denn dabei muss man beweisen, dass ein schlichter Kreis mit dem besagten Radius immer in das Bildgebiet passt. Im Prinzip einfacher ist es eine obere Abschätzung anzugeben, denn dazu braucht man nur bei einer geeigneten Funktion den größten schlichten Kreis auszurechnen, der ins Bildgebiet passt. Aber um eine **gute** obere Abschätzung zu finden, dazu braucht man mathematische Intuition:

Die hatten Helmut Grunsky und Lars Valerian Ahlfors im Jahre 1936 (siehe [3]). Sie hatten die Idee, die nur aus einer ästhetischen Betrachtungsweise herrühren kann, dass die Situation möglichst symmetrisch und die Ableitungsordnungen in den Ableitungsnullstellen der Abbildungsfunktion möglichst gering sein sollten. Das verwirklichten sie, indem sie im Urbild ein symmetrisches Kreisbogendreieck in den Einheitskreis legten und das in ein gleichseitiges Dreieck abbildeten. Wenn man im Urbild einmal um einen Eckpunkt herumläuft, muss man im Bild zweimal um den entsprechenden Eckpunkt laufen. Das entspricht einer einfachen Ableitungsnullstelle in den Eckpunkten und der größte schlichte Bildkreis ist der Umkreis des gleichseitigen Dreiecks. Das ergibt eine obere Abschätzung für die Blochsche Konstante von 0,472. Wenn Sie bedenken, dass das bis heute die beste obere Schranke ist, bleibt einem nur Bewunderung für diese mathematische Intuition. Insofern spricht einiges für die von den Beiden geäußerte Vermutung, dass dieser Wert der Richtige ist.

Der geniale Funktionentheoretiker Ahlfors schaffte es dann ein Jahr später dem unbekannten richtigen Wert auch von unten sehr nahe zu kommen (siehe [1]). Er bewies, dass die Blochsche Konstante größer oder gleich  $\sqrt{3}/4 = 0,43\ldots$  ist. Wenn ich jetzt erwähne, dass Maurice Heins erst 1962 bewies, dass man hier  $\geq$  durch  $>$  ersetzen kann (siehe [11]), sehen Sie wie klein die Fortschritte in der Mathematik manchmal sind.

1988 hat Mario Bonk in unserem Institut seine Dissertation „Extremalprobleme bei Blochfunktionen“ angefertigt, in der er beweisen konnte, dass die Blochsche Konstante  $> \sqrt{3}/4 + 10^{-14}$  ist (siehe [7]). Als er in dem mathematischen Forschungsinstitut in Oberwolfach darüber vortrug, erzählte der Kollege Pommerenke aus Berlin, dass er damals zu Herrn Heins gesagt habe, der Fortschritt von  $\geq$  zu  $>$  sei eindeutig der kleinste Fortschritt in der Geschichte der Mathematik. Heute, so sagte er, habe er nun den zweitkleinsten Fortschritt in der Geschichte der Mathematik erlebt. Es hat dann noch einige ähnliche Verbesserungen gegeben, aber die Ahlfors-Grunsky Vermutung ist bis heute unbewiesen.

Aber wie üblich, gibt es natürlich andere Varianten des Problems und eine davon hat Herr Bonk, als er 2000 als Heisenberg-Stipendiat unseres Instituts in Amerika war, mit Herrn Ermenko zusammen geknackt. Dabei betrachtet man Funktionen, die in der ganzen Ebene holomorph bis auf Pole sind und sucht die größte schlichte Kreisscheibe im Bildgebiet, das man sich auf der so genannten Riemannschen Zahlenkugel, einer stereographischen Projektion der Ebene auf eine Kugel, vorstellt.

Die Extremalfunktion hat in diesem Fall auch eine schöne geometrische Gestalt. Diesmal stellt man sich in der Urbildebene ein hexagonales Netz von gleichseitigen Dreiecken vor und beschreibt der Riemannschen Zahlenkugel einen regelmäßigen Tetraeder ein, den man, diesmal mit Zentralprojektion vom Mittelpunkt aus, auf die Kugel projiziert. Dabei stoßen an jeder Ecke im Bild drei Kugeldreiecke zusammen. Also entspricht ein Umlauf um eine Ecke im Urbild wieder zwei Umläufen im Bild. Die Idee, diese Abbildung in diesem Zusammenhang zu betrachten, stammt wohl von Herrn Pommerenke aus dem Jahre 1970. Wenn man den Radius der größten schlichten Kreisscheibe im Winkelmaß auf der Kugel misst, dann kommt für die meromorphe Blochkonstante  $\arccos(1/3)$  heraus. Und soviel schlichte Kreisscheibe passt immer ins Bild (siehe [8]).

Als Abschlussbemerkung darf ich noch anmerken, dass Herr Bonk unser Beitrag zum Brain drain ist, er ist inzwischen full professor an der Universität Los Angeles.



### References

- [1] AHLFORS, L.V. (1938): An extension of the Schwarz's Lemma. Trans. Amer. Math. Soc. **43**: 359–364.
- [2] AVKHADIEV, F.G. & K.-J. WIRTHS (2009): Schwarz-Pick type inequalities. Birkhäuser.
- [3] AHLFORS, L.V. & H. GRUNSKY (1937): Über die Blochsche Konstante. Math. Z. **42**: 671–673.
- [4] BLOCH, A. (1924): Les theoremes de M. Valiron sur les fonctions entieres et la theorie de l'uniformisation. C.R. Acad. Sci. Paris **178**: 2051–2052.
- [5] BLOCH, A. (1925): Les theoremes de M. Valiron sur les fonctions entieres et la theorie de l'uniformisation. Ann. Sci. Univ. Toulouse **17**: 1–22.
- [6] BIEBERBACH, L. (1916): Über die Koeffizienten derjenigen Potenzreihen, welche eine schlichte Abbildung des Einheitskreises vermitteln. Sitz.-Ber. Preuss. Akad. Wiss., 940–950.
- [7] BONK, M. (1988): Extremalprobleme bei Bloch-Funktionen. Dissertation, Braunschweig.
- [8] BONK, M. & A. EREMENKO (2000): Covering properties of meromorphic functions, negative curvature and spherical geometry. Ann. Math. **152**: 551–592.
- [9] CARTAN, H. & J. FERRAND (1988): The case of Andre Bloch. The Mathematical Intelligencer **10.1**: 23–26.
- [10] CAMPBELL, D.M. (1985): Beauty and the Beast: The strange case of Andre Bloch. The Mathematical Intelligencer **7.4**: 36–38.
- [11] HEINS, M. (1962): On a class of conformal metrics. Nagoya Math. J. **21**: 1–60.
- [12] REMMERT, R. (1993): The Riemann-file Nr. 125 of the Philosophische Fakultät of the Georgia Augusta at Göttingen. The Mathematical Intelligencer **15.3**: 44–46.
- [13] ROTH, O. & ST. RUSCHEWEYH (Herausgeber) (2004): Helmut Grunsky, Collected Papers. Heldermann Verlag, pp. XLVII, XLVIII.



## **Experiment & Modellierung in der Systembiologie\***

DIETMAR SCHOMBURG

Institut für Biochemie, Biotechnologie & Bioinformatik, TU Braunschweig  
Langer Kamp 19 B, D-38106 Braunschweig

### **„Life sciences“ zwischen Molekül und Organismus**

Seit dem späten 19. Jahrhundert sind die Biowissenschaften von Biologie, Biochemie, Biotechnologie bis zur Medizin gespalten in molekulare und makroskopische Beobachtungen und Analysen. Auf der einen Seite wird ein „Phänotyp“ beobachtet, der z.B. einen Mikroorganismus befähigt, bei 90° Celsius zu wachsen, einer Pflanze ermöglicht, auch im Schatten zu wachsen oder einen Menschen mit Nebenwirkungen auf ein bestimmtes Medikament reagieren lässt, auf der anderen Seite werden bestimmte Stoffwechseleigenschaften oder im letzten Jahrzehnt ein bestimmtes Genom bzw. DNA-Sequenzen im Genom, d.h. ein bestimmter „Genotyp“ gefunden.

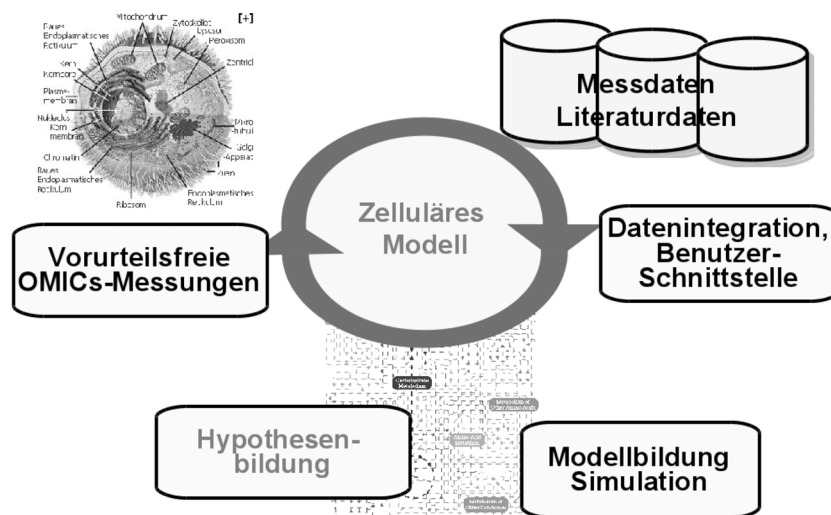
Die große Herausforderung für die Biowissenschaften in den kommenden Jahren besteht darin, den Phänotyp auf den Genotyp zurückzuführen und in der Folge die Eigenschaften der Organismen aus der Kenntnis des individuellen Genoms vorherzusagen. Während dies bei einfachen monokausalen Phänomenen wie z.B. der Stoffwechsel-Krankheit Phenylketonurie schon heute gelingt, handelt es sich bei den meisten biologischen Phänomenen, wie die in diesem Zusammenhang besonders interessanten Herz/Kreislaufkrankheiten oder Tumoren um multikausale und kooperative Phänomene, die nicht mit einfachen qualitativen Argumentationsketten zu erfassen sind, sondern einer mathematischen Modellierung bedürfen.

### **Systembiologie**

Hier bietet die Systembiologie einen gemischt experimentell/theoretischen Ansatz, der die einzige Möglichkeit darstellt, die Herausforderung zu meistern.

---

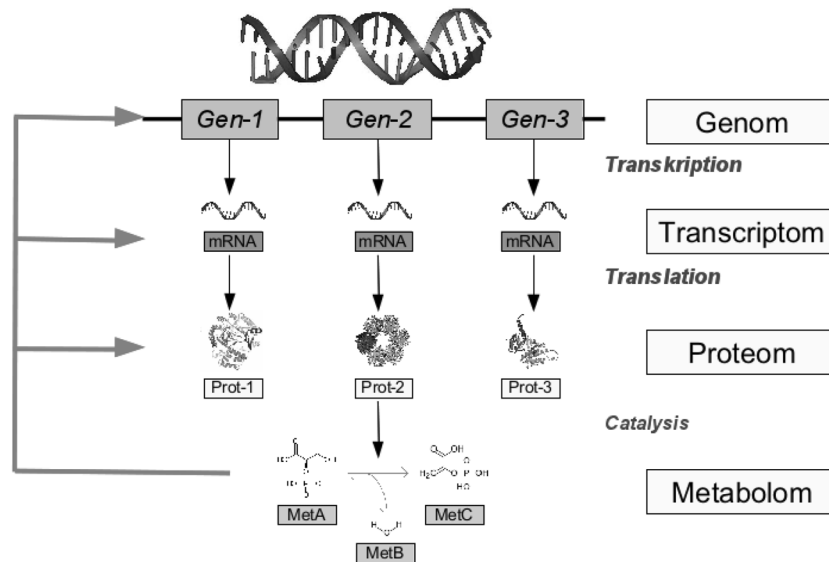
\* Der Vortrag wurde am 17.06.2011 vor der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.



Entsprechend der Abbildung werden in der Systembiologie möglichst vorurteilsfrei alle zellulären Daten gesammelt, in Datenbanken integriert und daraus ein Computermodell entwickelt, dessen Analyse und Anwendung in Simulationen ein Verständnis und eine Vorhersage der Eigenschaften bzw. der Reaktionen des Organismus auf Einflüsse der Umgebung wie z.B. Nahrungsaufnahme, Stress oder Infektionen erlaubt. Die aus dem Modell entwickelten Hypothesen werden dann experimentell überprüft und daraufhin das Modell optimiert. Der gesamte Zyklus wird mehrfach durchlaufen und führt zu immer besseren und zuverlässigeren Modellen.

### Modell-Entstehung

Die Entwicklung der Systembiologie wäre ohne die rasante Entwicklung der hochparallelen Analysemethoden, die modernen Computer oder die Entwicklung der Bioinformatik absolut undenkbar gewesen. Heute ist es möglich, die Gesamtinformation einer Zelle, d.h. das Genom mit 4 Millionen bis mehr als 100 Milliarden „Buchstaben“, das Transkriptom mit ca. 30 000 verschiedenen Verbindungen, das Proteom mit > 30 000 verschiedenen Eiweißstoffen und das Metabolom mit 1000–2000 Stoffwechselprodukten analytisch in Hochdurchsatzverfahren zu analysieren. Allein die Datenerfassung sowie die spätere Analyse und der Zusammenbau zu einem Modell stellen auch moderne Computer vor große Herausforderungen. Das Wechselspiel all dieser zellulären Komponenten in einem stabilen Gleichgewichtszustand einerseits mit hoher Stabilität,



andererseits mit der Möglichkeit, flexibel auf Änderungen der Umgebung zu reagieren, erlauben erst das Leben, wie wir es kennen.

Modelle entstehen durch die bioinformatische Verarbeitung der Messdaten. Hierbei können Modelle der zellulären Regulation unterschieden und getrennt behandelt werden von Modellen des Stoffwechsels, da sie auf verschiedenen Zeitskalen funktionieren, der Stoffwechsel in Bruchteilen von Sekunden, die Genregulation und Proteinproduktion im Stunden- bis Tagebereich.

Der Stoffwechsel, ob im Menschen oder im Bakterium, wird ermöglicht durch die Enzyme, Eiweißstoffe, deren Aufbau im Genom als „Konstruktionszeichnung“ niedergelegt ist und die die chemische Reaktionen um bis zu 14 Größenordnungen beschleunigen können und somit erst ermöglichen. Mit ihrer Hilfe können die Lebewesen aus dem, was sie als Nahrung aufnehmen, die vielen 10000 Stoffe produzieren, aus denen sie bestehen.

Zum Modell Aufbau wird mit Bioinformatik-Methoden vorhergesagt, welche Enzyme auf dem Genom kodiert sind, und danach aus der Datenbank „**BRENDA**“ („Braunschweiger Enzym Datenbank) eine Liste der in diesem Organismus möglichen chemischen Reaktionen erzeugt.

**BRENDA**, eine in Braunschweig entwickelte Datenbank, enthält Funktions-, Struktur- und biochemische Eigenschaftsdaten der Enzyme inkl. Daten zu ihrer medizinischen und diagnostischen Relevanz. Der Inhalt der BRENDA Datenbank entsteht durch Kombination von manueller Auswertung der Primärlitera-

tur mit Daten aus Text-Mining Verfahren und anderer Bioinformatik-Software sowie biochemischen Strukturen. Insgesamt sind in der Datenbank heute 66 Millionen Daten gespeichert, davon sind ca. 3,2 Millionen experimentelle Daten manuell aus > 117 000 wissenschaftlichen Publikationen extrahiert. Die Benutzer-Schnittstelle (<http://www.brenda-enzymes.org>) erlaubt eine Vielzahl von Recherchemöglichkeiten sowie Möglichkeiten der statistischen Auswertung und graphischer Ausgabe.

Sie ist eine der wichtigsten biologischen Ressourcen für die Forschung geworden. Von über 3 Millionen Webseiten wird auf die Datenbank verwiesen.

### **Simulation der zellulären Reaktion mit Hilfe von Modellen der molekularen Netze**

Die Kenntnis der in der Zelle ablaufenden chemischen Reaktionen erlaubt es, in der Kombination mit Algorithmen der Bioinformatik zu simulieren, welche Stoffwechselprodukte wie z.B. Aminosäuren, Fette, Kohlenhydrate etc. in der Zelle in welcher Zusammensetzung aufgebaut werden können und wie stabile Zustände der Zelle aussehen. Hierbei spielen sich natürlich in einer Leberzelle ganz andere Wechselwirkungen und Prozesse ab als z.B. im Gehirn oder einer Muskelzelle.

Angefangen von einfachen Strukturanalysen des Stoffwechsels, in denen die verschiedenen Umwandlungen und Stoff-Flüsse in einer Zelle behandelt werden wie z.B. bei der Simulation des fließenden Verkehrs in einem komplexen Straßensystem, über systemtheoretische Ansätze/„stöchiometrische Modelle“ bis zu voll kinetischen Modellen von schnellen Reaktionen auf Stress-Situationen sind je nach Komplexität verschiedene Simulationsansätze möglich.

Sie finden Anwendung in der Grundlagenforschung, in der Entwicklung von Medikamenten oder bei der Optimierung von Mikroorganismen für die biotechnologische Stoffproduktion in einer Vielzahl von Applikationen und werden in den kommenden Jahren weiter verfeinert und optimiert werden. Am Ende steht die „gläserne“ Zelle, deren Reaktionen mit ähnlicher Genauigkeit vorhergesagt werden kann wie das Verhalten eines hochkomplexen Schaltkreises.

## Arylborane zeigen Wirkung – Von der Katalyse bis zur Lumineszenz\*

DIETER E. KAUFMANN

Institut für Organische Chemie der TU Clausthal  
Leibnizstr. 6, D-38678 Clausthal-Zellerfeld

Aromatische Kohlenstoffverbindungen mit einem oder mehreren Borsubstituenten – Arylborane – sind vielfältig nutzbare Zwischenprodukte in der organischen Synthese. Das Elektronen-Defizit des Bors lässt diese Lewis-Säuren darüber hinaus in ganz unterschiedlichen Bereichen Ihre Wirkung entfalten. Dabei führt die elektronische Wechselwirkung eines Aromaten mit einer Borylgruppe zu einer deutlichen Stabilisierung dieser Arylborane, die dadurch gut handhabbar werden. Die resultierende Lewis-Acidität ist abhängig von den zusätzlichen Substituenten am Bor.

Monoborane können Lewis-Basen wie  $\alpha,\beta$ -ungesättigte Carbonylverbindungen reversibel komplexieren und dadurch katalytisch aktivieren. Bei geeigneten geometrischen Voraussetzungen können Di- und Oligoborane auch kooperativ komplexieren, bis hin zur konformativen Fixierung in asymmetrischen Reaktionen. Die Umsetzung axial-chiraler Biaryle mit Hydroboranen führt zu chiralen Boronaten, die als Katalysatoren wie Reagenzien in asymmetrischen Reaktionen hohe Wirksamkeit und Selektivität entfalten.

Die biologische Wirkung von Arylboronaten lässt sich nutzen zum Oberflächenschutz nachwachsender Rohstoffe wie Holz gegenüber Pilzen und Insekten. Ein langfristiger Holzschutz lässt sich erreichen durch kovalente Modifizierung von Holzbestandteilen mit borylsubstituierten, aktivierten Benzoesäuren. Dieses Schutzprinzip lässt sich gut auf die Modifizierung mit weiteren, z.B. fluorsubstituierten Benzoesäuren übertragen.

Die formale Insertion eines aromatischen  $\pi$ -Systems in eine starke B-N-Bindung führt zur Bildung push-pull-substituierter B,N-Luminophore, die als Bestandteil optoelektronischer Bauteile mit hohen Quantenausbeuten dienen können.

---

\* Kurzfassung des am 14. Oktober 2011 vor der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

Der synthetische Zugang zu einer Reihe strukturell unterschiedlicher B-N-Chromophore wurde eröffnet, erste Anwendungen haben die Erwartungen erfüllt.



## **Smart Grid, cui bono? Anmerkungen zur Zukunft der Stromversorgung\***

DIETER KIND

Knappstraße 4, D-38116 Braunschweig

Die Neuorientierung der Energiepolitik hat in den Industrieländern eine Tendenz zur grundlegenden Veränderung der Systeme und Komponenten der Stromversorgung entstehen lassen. Konnten sich bisher die Stromverbraucher darauf verlassen, dass die gewünschte elektrische Leistung zu jeder Zeit dem Netz entnommen werden kann, wird die stark schwankende Stromerzeugung aus Windkraft und Photovoltaik zukünftig eine Mitwirkung der Stromverbraucher an dem in jedem Augenblick erforderlichen Abgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch erzwingen. Man spricht von einer „Energiewende“.

Dies bei einem möglichst hohen Anteil von Quellen erneuerbarer Energie erreichbar zu machen ist die Vision eines durch Datenverbindungen und Steuerung von Komponenten umfassend erweiterten intelligenten Stromnetzes, für das sich der Ausdruck „Smart Grid“ eingebürgert hat. Auf eine prägnante Formulierung gebracht bedeutet dies einen Paradigmenwechsel von

„Generation follows Load“ zu „Load follows Generation!“

### **Stromnetze heute und morgen**

Die heutige Stromversorgung hat sich im 19. Jahrhundert in der Form von Drehstromnetzen bestehend aus einander überlagerten und der Stärke des Energieflusses angepassten Spannungsebenen entwickelt. Durch Kopplung über Hochspannungs-Fernleitungen ist heute in Europa ein alle Länder umfassendes synchrones Verbundnetz entstanden, in das zentrale Großkraftwerke einspeisen und von dem aus die Endverbraucher über regionale Mittelspannungsnetze mit

---

\* Der Vortrag wurde am 11.02.2011 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

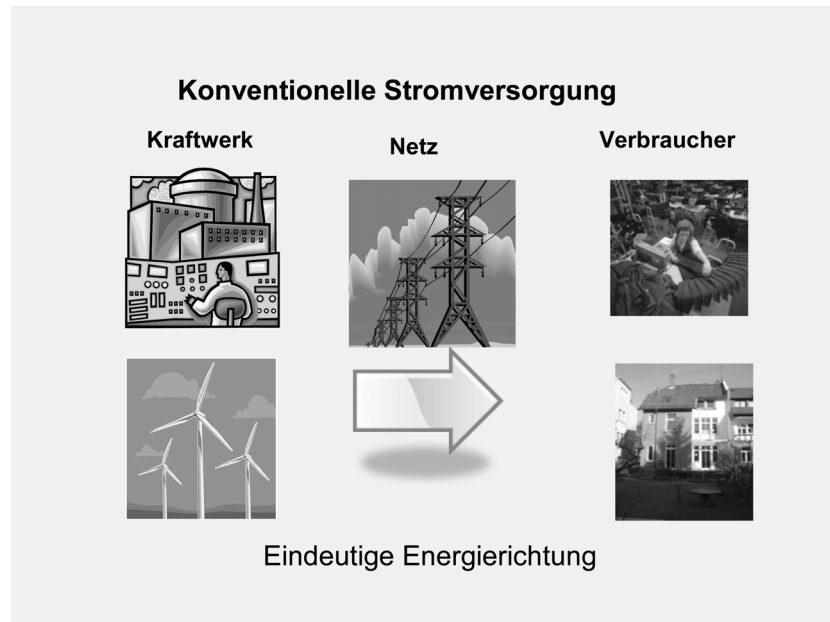


Bild 1: Im konventionellen Netz haben alle Leitungsverbindungen eine eindeutige Energie-richtung von den Kraftwerken über das Netz zu den Verbrauchern.

Niederspannung versorgt werden. Diese konventionelle Struktur kennt nur eine eindeutige Richtung des Energieflusses vom Erzeuger zum Verbraucher (Bild 1).

Die Energiewirtschaft im Allgemeinen und die Stromversorgung im besonderen wird heute von politischen Vorgaben bestimmt, die sich nur wenig an dem bisher unbestrittenen „Energiepolitischen Zieldreieck“, der ausgewogenen Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit orientieren. So ist die kurzfristige Festlegung auf vorrangige Nutzung erneuerbarer Energiequellen zum Klimaschutz mit Auflagen verbunden, die Einschränkungen bei Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit zur Folge hat. Dies gilt auch für einen Verzicht auf die friedliche Nutzung der Kernenergie. Dennoch setzen Politik und ein nicht kleiner Teil der Öffentlichkeit hohe Erwartungen in die Wirkung von „Smart Grid“.

Beginnend vor etwa 20 Jahren haben technische Entwicklungen und massive staatliche Förderprogramme Stromverbrauchern die Möglichkeit eröffnet, sich durch „Kleinkraftwerke“ an der Stromerzeugung zu beteiligen. Hierdurch wird ein Teil der im Gesamtnetz geforderten elektrischen Energie dezentral erzeugt mit der Folge, dass sich in der Verteilungsebene die Energierichtung umkehren kann (Bild 2).

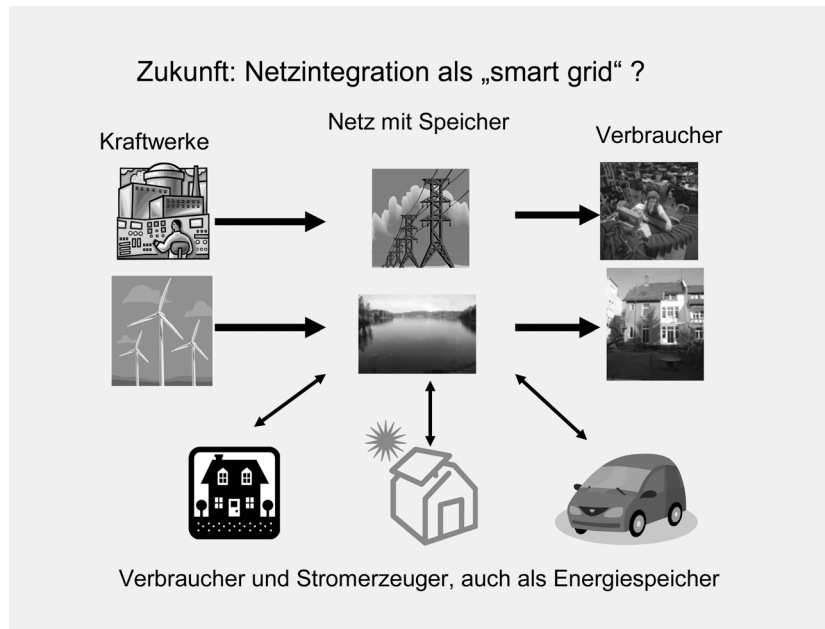


Bild 2: Im „Smart Grid“ können Verbraucher auch als dezentrale Erzeuger oder Speicher wirken. Das führt zu teilweise wechselnder Energierichtung.

### Netzstabilität ist unverzichtbar

Im gesamten Netzgebiet müssen alle elektrischen Komponenten mit der synchronen Netzfrequenz arbeiten, in Europa mit 50 Hz. Da sich die elektrische Energie in den Leitungen praktisch mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet und deshalb auch nicht im erforderlichen Umfang direkt gespeichert werden kann, muss die von allen Stromverbrauchern geforderte Leistung in jedem Augenblick von den Stromerzeugern bereitgestellt werden.

Darüber hinaus muss der Phasenwinkel der Wechselspannungen in den Verbindungsleitungen auch bei kurzzeitigen Leistungssprüngen aus Stabilitätsgründen stets weit unter 90 Grad bleiben. Die Kraftwerke erfüllen diese Bedingung zunächst nur mithilfe der in den Schwungmassen der Generatoren gespeicherten mechanischen Energie. Sie können mit ihrer Regelung erst mit Verzögerung auf eine Differenz von Erzeugung und Verbrauch reagieren. Dieser Vorgang zeigt sich in einer mit der wechselnden Last veränderlichen Änderung der Netzfrequenz, die jedoch enge Grenzen von etwa  $\pm 0,2 \text{ Hz}$  nicht überschreiten darf. So gesehen ist das Stromversorgungsnetz ein hochempfindliches System,

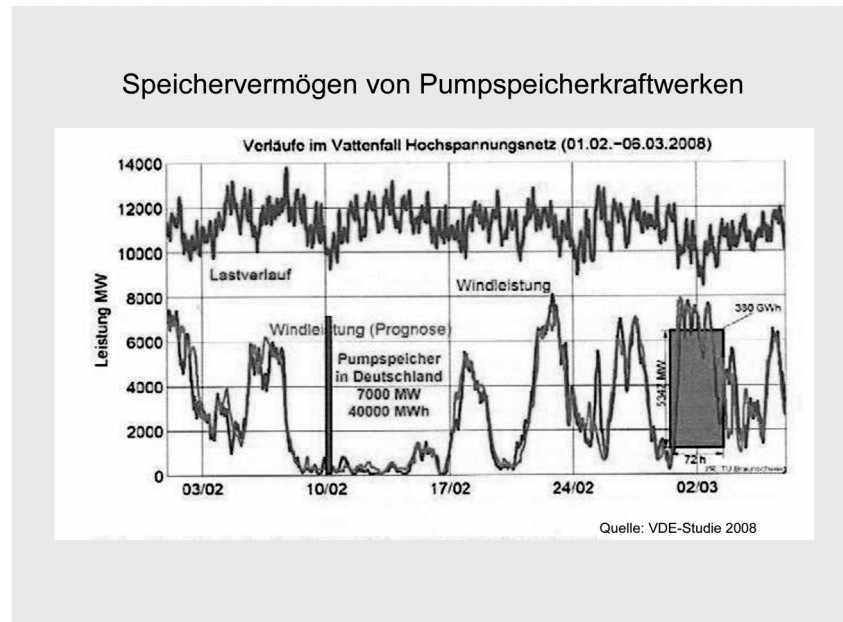


Bild 3: Die vom Lastverlauf unabhängige Windeinspeisung erfordert flexible Regelleistung der Kraftwerke. Pumpspeicherwerke können die Schwankungen nicht ausgleichen.

das nur dank effektiver Regelung und Steuerung seiner Komponenten stabil betrieben werden kann.

Diese Aufgabe wird bereits heute durch die von der zeitlichen Laststruktur weitgehend unabhängige Einspeisung hoher Leistungen aus stark schwankenden Energiequellen wie Windkraft und Photovoltaik wesentlich erschwert. Das gilt nicht nur für große zentrale, sondern auch für kleine dezentrale Anlagen bei den Verbrauchern. Ein Beispiel für diese Problematik zeigt in Bild 3 der Verlauf von Windenergiespeisung und Last im Hochspannungsnetz der Vattenfall Europe AG.

Die konventionellen Kraftwerke sind durchaus in der Lage, ihre Erzeugung einem planmäßigen Lastverlauf anzupassen, können jedoch innerhalb eines Regelbereichs die stark schwankende und praktisch nicht beeinflussbare Windleistung nur unter Inkaufnahme eines Betriebs mit vermindertem Wirkungsgrad ausgleichen. Das im Diagramm eingezeichnete schmale Rechteck entspricht dem Speichervermögen der heute vorhandenen und in Deutschland aus topologischen und wirtschaftlichen Gründen nicht wesentlich erweiterbaren Pumpspeicherkraftwerke. Das große Rechteck zeigt, dass die zum Ausgleich der



Bild 4: Schema für das zentrale Netzmanagement in einem integrierten Netz.

Leistungsbilanz etwa erforderliche Regelleistung keinesfalls allein durch Speichereinrichtungen erbracht werden könnte.

Nicht nur von den Stromerzeugern, sondern auch durch die Mitwirkung der Stromverbraucher erwartet man wesentliche Beiträge zur Lösung der Probleme der Energiewende. Dazu müssen sich auch die Verbraucher einer zentralen Netzbetriebssteuerung unterwerfen. Voraussetzung dafür ist jedoch die als „Smart Meter“ bezeichnete Erweiterung des vertrauten Stromzählers durch ein Gerät, das nicht nur zur Messung, sondern auch zur Steuerung der angeschlossenen Geräte durch eine zentrale Netzsteuerung geeignet ist. Denn nur so kann die Stromabnahme des Kunden oder die Einspeisung eines dezentralen Kleinerzeugers einen Beitrag zur Netzstabilität und möglicherweise auch zur Energieeinsparung leisten.

Bild 4 zeigt das einfache Schema eines in Wahrheit sehr schwierigen und komplexen Systems intelligenter Stromversorgung. Eine der vielen technischen Voraussetzungen der Verwirklichung ist die erfolgreiche Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik sowie der Leistungselektronik. Eine Gesellschaftspolitische Voraussetzung ist allerdings in jedem Fall die Bereitschaft der Stromkunden, sich der Steuerung einer Zentrale zu unterwerfen.

### Chancen und Probleme von Smart Grid

Die Vision eines Smart Grid wird sich nur schrittweise erfüllen lassen und bestenfalls erst in einigen Jahrzehnten die erhofften Wirkungen entfalten. Immerhin kann man schon heute einige technische Voraussetzungen nennen:

Die aktuellen Betriebsdaten aller Erzeuger, Verbraucher und Netzelemente müssen zentral erfasst und beeinflussbar sein.

Die wichtigsten Partner eines integrierten Netzes müssen von einem umfassenden Managementsystem gesteuert werden können.

Im Betrieb muss ein automatisches Programm Energieeffizienz und Kosten innerhalb gegebener Vertragsgrenzen optimieren.

Alle Mess- und Steuerelemente müssen auch hohe dynamische Anforderungen erfüllen, um Netzstabilität und Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Die elektrische Energie ist heute und in Zukunft eine unverzichtbare Grundlage des Lebens in einer Industriegesellschaft, das beweist auch der allen Einsparmaßnahmen zum Trotz vorhergesagte weitere Anstieg des Stromverbrauchs. Eine wirtschaftliche, sichere und umweltverträgliche Gestaltung der Stromversorgung betrifft alle Bürger, deshalb muss auch Smart Grid langfristig alle überzeugen. Welche Vor- oder Nachteile sind zu erwarten?

Die Verbraucher haben geringe Aussichten auf einen erniedrigten Strompreis, auch müssen sie von der Notwendigkeit der Einschränkung ihrer Nutzungsrechte erst überzeugt werden. Auch ergeben sich Probleme für den Datenschutz.

Die Stromversorger erwarten eine bessere Ausnützung der unkorrelierten Einspeisung von Wind und Sonne sowie eine Vermeidung von Schattenkraftwerken zum Erhalt der Netzstabilität. Auf der anderen Seite müssen sie mit hohen Kosten für den Netzausbau und mit einer Behinderung durch regionale Widerstände rechnen.

Die Industrie wird vor schwierige neue Aufgaben gestellt, die einen großen Auftragsschub bringen werden. Schon heute können statische Umrichter zur Netzstabilität beitragen und entfernte Stromquellen über Gleichstromverbindungen (HGÜ) erschlossen werden. Hier wird der Mangel an qualifiziertem Personal deutlich werden und man darf hoffen, dass sich der bei der elektrischen Energietechnik seit einigen Jahren erkennbare positive Trend bei Studienanfängern fortsetzen wird.

Die „Energiewende“ von der konventionellen zentralen Stromversorgung hin zu einer überwiegend aus „Erneuerbaren Energiequellen“ gespeisten Erzeugung darf sich nicht auf das enge politische Ziel der Vermeidung von Kernenergie und CO<sub>2</sub> beschränken, sonst wird der heute bestehende gesellschaftliche Kon-

sens in seinem Bestand gefährdet. Zukunftsfähige nachhaltige Lösungen brauchen nicht nur eine staatliche Förderung sondern auch eine angemessene Reifezeit.

### Angaben zur Literatur

In den letzten Jahren sind viele Veröffentlichungen zum Thema „Smart Grid“ erschienen. Das beweist die aktuelle Bedeutung des Themas vor dem Hintergrund der energiepolitischen Veränderungen. Die vorstehende schriftliche Kurzfassung eines Vortrags stützt sich vor allem auf eine Reihe von Studien der Energietechnischen Gesellschaft im VDE(ETG). Hierzu zählen insbesondere:

- [1] Dezentrale Energieversorgung 2020. VDE (ETG), Frankfurt 2007, 183 S.
- [2] Smart Distribution 2020. VDE (ETG), Frankfurt 2008, 83 S.
- [3] Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger. VDE (ETG), Frankfurt 2008, 57 S.
- [4] Smart Energy 2020, vom Smart Metering zum Smart Grid. VDE (ETG), Frankfurt 2010, 96 S.

In Anbetracht der raschen Entwicklung wurde darauf verzichtet, im Text Literaturhinweise einzufügen. Bei Bildern werden die Quellen genannt.





## **Einsatz und Entwicklung der Prozessmodellierung bei der Abwasserreinigung\***

KARL-HEINZ ROSENWINKEL & VOLKER SPERING

Leibniz Universität Hannover  
Welfengarten 1, D-30167 Hannover

In der Abwasserreinigung wird zur Optimierung von Steuerung und Betrieb von Kläranlagen die Methodik der numerischen Simulation erfolgreich eingesetzt. Hierbei werden die biologischen Umsetzungsprozesse mit Hilfe von Prozessmodellen abgebildet. Die Aktivitäten im Bereich der dynamischen Simulation der biologischen Prozesse wurden auf internationaler Basis innerhalb der IWA (International Water Association) gebündelt. Die Veröffentlichung einer einheitlichen Modellbasis hat die Modellierung unterstützt und die Vergleichbarkeit von Simulationsstudien ermöglicht. Das erste dieser Modelle, das ASM1 (Activated Sludge Model no.1) wurde 1987 präsentiert.

Ziel einer Simulationsstudie ist die Untersuchung des Anlagenverhaltens unter dynamischen Zuständen, die sich in Abhängigkeit von der Zulaufsituation und Biomassezusammensetzung ergeben. Die spezifische Anlagenkonfiguration wird durch eine Verschaltung von Reaktormodellen realisiert und die aktuelle Belastungssituation durch einen Zulaufweg abgebildet. Die biologischen Modelle werden mit Modellen für Absetzprozesse verknüpft, die den Feststoffrückhalt der Nachklärbecken repräsentieren. Mithilfe eines solchen Anlagenmodells können dann beispielsweise Regelungsentwürfe getestet und bewertet werden.

Basis hierfür ist eine erfolgreiche Kalibrierung und Verifizierung. Hierbei werden zunächst die Fließbedingungen und die Zulaufverhältnisse überprüft. Reichen Anpassungen in diesen Punkten nicht aus, werden zusätzlich die biologischen Parameter der Modelle betrachtet. Um diese Parameter zu verändern sind Laborversuche unumgänglich, die unter definierten Randbedingungen einzelne Prozesse in einem Batchreaktor wiedergeben. Die Ergebnisse können dann

---

\* Kurzfassung des am 17.06.2011 in der Klasse für Ingenieure der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

in die Modelle übertragen werden und spiegeln somit die spezifischen Eigenschaften der Biomasse wieder. Der Abgleich des Gesamtmodells der Kläranlage erfolgt über die Messwerte des Anlagenablaufs und interner Prozessgrößen. Für besondere Fragestellungen ist es notwendig spezielle Modelle zu entwickeln. Hierfür werden zusätzliche Prozesse, insbesondere Biomassegruppen mit spezifischen Stoffwechselprozessen, eingeführt. Der erste Schritt zur Kalibrierung dieser Modelle ist die Identifikation der sensiblen Parameter über eine Sensitivitätsuntersuchung. Zur Parametrierung dieser Prozesse werden die Ergebnisse der Batchversuche im Modell nachgestellt um den Multiparameterabgleich zu realisieren, der notwendig ist, da die biologischen Prozesse im Laborversuch nicht separiert werden können. Die Versuchsplanung zur Identifizierung dieser Werte ist somit ebenfalls Teil der Modellentwicklung.

Aktuelle Entwicklungen erweitern den Einsatzbereich der Modellierung derzeit erheblich. Zur Abbildung von gekoppelten Prozessen durch Rückführungen aus anderen Anlagenteilen wird das Ziel verfolgt, die Gesamtanlage mit allen Aggregaten abzubilden. Dies erfordert die Kombination mit dem biologischen Modell der anaeroben Schlammfäulung und damit auch die Definition von Schnittstellen zur Übergabe der Prozessgrößen. Für dieses Vorgehen hat sich der Begriff des „Plant Wide Modelling“ durchgesetzt. Daneben wird auch der Gedanke des „System Wide Modelling“ verfolgt. Hierbei wird das Anlagenmodell in einen größeren Kontext eingebettet und mit Kanalnetz- und Gewässergütemodellen gekoppelt. Diese integrierte Modellierung erlaubt Aussagen hinsichtlich der Auswirkung von Systemveränderungen auf die Gewässerqualität des Vorfluters. Eine weitere, technisch sehr anspruchsvolle Aufgabe besteht in der Echtzeitkopplung des Anlagenmodells mit dem Betriebssystem der Kläranlage. Durch eine automatisierte Parameternachführung steht jederzeit ein kalibriertes Modell bereit, das für eine Prognosesimulation genutzt werden kann. Hierfür ist die Kopplung von Onlinesensorik und Modellsystem notwendig.

## **Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung\***

ERNST GOCKENBACH

Leibniz Universität Hannover, Schering Institut  
Callinstrasse 25 A, D-30167 Hannover

### **Einleitung**

Die Zuverlässigkeit eines technischen Produkts oder Systems ist eine Eigenschaft, die angibt, wie verlässlich eine dem Produkt oder System zugewiesene Funktion in einem Zeitintervall erfüllt wird. Sie unterliegt einem stochastischen Prozess, kann qualitativ oder auch quantitativ (durch die Überlebenswahrscheinlichkeit) beschrieben werden und ist nicht unmittelbar messbar. Eine Anwendung dieser Definition auf die elektrische Energieversorgung bedeutet, dass auch ein Ausfall möglich ist, da kein technisches Produkt frei von der Möglichkeit eines Ausfalles ist. Diese grundsätzliche Bedingung wird leider im Alltag oft nicht beachtet, die sehr hohe Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung wird als selbstverständlich angenommen und nur bei einem Ausfall, der in Deutschland im Bereich von ca. 15 Minuten pro Energieabnehmer und Jahr liegt, wird über die elektrische Energieversorgung diskutiert.

### **Ursachen der Versorgungsunterbrechung und Abhilfen**

Ein Blick in die Statistik zeigt zunächst, dass die Versorgungsunterbrechung zu etwa 2 Drittel geplant ist und sich der Verbraucher darauf einstellen kann. Die ungeplanten Ursachen teilen sich auf in etwa 40% höhere Gewalt (ohne Naturkatastrophen), etwa 24% Beschädigung durch Dritte (Beschädigung von Kabeln durch Erdarbeiten) und etwa 32% interne Arbeiten des Energieversorgungsunternehmens. Von diesen ungeplanten Unterbrechungen geht in der Regel keine Unterbrechung der Energieversorgung der Verbraucher aus, da die Auslegung der Systeme nach der sogenannten n-1 Regel erfolgt. Diese besagt, dass auch bei Ausfall einer Komponente die anderen Komponenten diesen Ausfall kom-

---

\* Kurzfassung des am 14.10.2011 in der Klasse für Ingenieure der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrages.

pensieren können. Fällt also z.B. ein großes Kraftwerk in Deutschland aus, dann erbringen die anderen Kraftwerke die erforderliche Leistung, wobei innerhalb des europäischen Netzes diese Leistung auch in einem anderen Land erbracht werden kann.

### Stabilitätsbedingungen

Eine wesentliche Eigenschaft der elektrischen Energieversorgung ist die Einhaltung des Gleichgewichtes zwischen erzeugter und verbrauchter Energie, wobei es physikalisch korrekt heißen müsste: zwischen der Energiewandlung von mechanischer/thermischer Energie in elektrische Energie und von elektrischer Energie in mechanische/thermische Energie. Diese geforderte Stabilität hat zwei Komponenten, die Frequenz der Wechselspannung und die Leistung. Es ist also notwendig, die in Deutschland eingeführte Frequenz von 50 Hz sehr genau einzuhalten, wobei diese Frequenz für das gesamte europäische Verbundnetz (UCTE) gilt. Nur Abweichungen von bis zu 0,05 Hz, entsprechend 0,1%, sind erlaubt und Frequenzschwankungen treten durch laufende Laständerungen auf, da Verbraucher sich zuschalten und abschalten ohne das Energieversorgungsunternehmen zu informieren. Eine derartige Meldepflicht würde auch unsere Freizügigkeit bezüglich elektrischer Energieversorgung erheblich bzw. unakzeptabel einschränken. Um diese engen Grenzen der Frequenzvorgabe einzuhalten, ist eine schnelle Regelung erforderlich, so dass die Erzeugung sich unmittelbar dem Verbrauch anpasst. Diese Maßnahmen werden dann in sogenannte Primärregelung und Sekundärregelung unterteilt, die im Bereich von Sekunden und Minuten erfolgen müssen. Längere Ausgleichsmaßnahmen werden unter dem Begriff Minutenreserve zusammengefasst. Diese Art der Regelung bedeutet eine Anpassung der Erzeugung an den Verbrauch, damit die Verbraucher keine Auswirkung des Ausfalls einer Komponente bemerken. Voraussetzung dafür ist aber eine ständig kurzfristig verfügbare Reserveleistung, die im Bedarfsfall sofort automatisch und in entsprechender Größe abgerufen werden kann. Es ist daraus abzuleiten, dass diese Leistungsfähigkeit der elektrischen Energieversorgung Kosten verursacht, die von allen Partnern innerhalb des Systems getragen werden müssen. In Abb. 1 ist symbolhaft die Gleichgewichtsbedingung im linken Teil dargestellt und im rechten Teil die technische Lösung für diesen Fall, wobei hier als Prämisse die Anpassung der Erzeugung an den Verbrauch gilt.

Es ist von der technischen Seite auch möglich, die Einhaltung des Gleichgewichts durch Anpassung des Verbrauchs zu regeln. Hier zeigen sich aber Grenzen, die technisch oder aber durch die Erwartungshaltung oder vertragliche Vereinbarungen bedingt sein können. Ein Verbraucher, der eine gewisse Zeit ohne Energiezufuhr sein kann wie z.B. ein Kühlhaus oder eine Tiefkühltruhe,

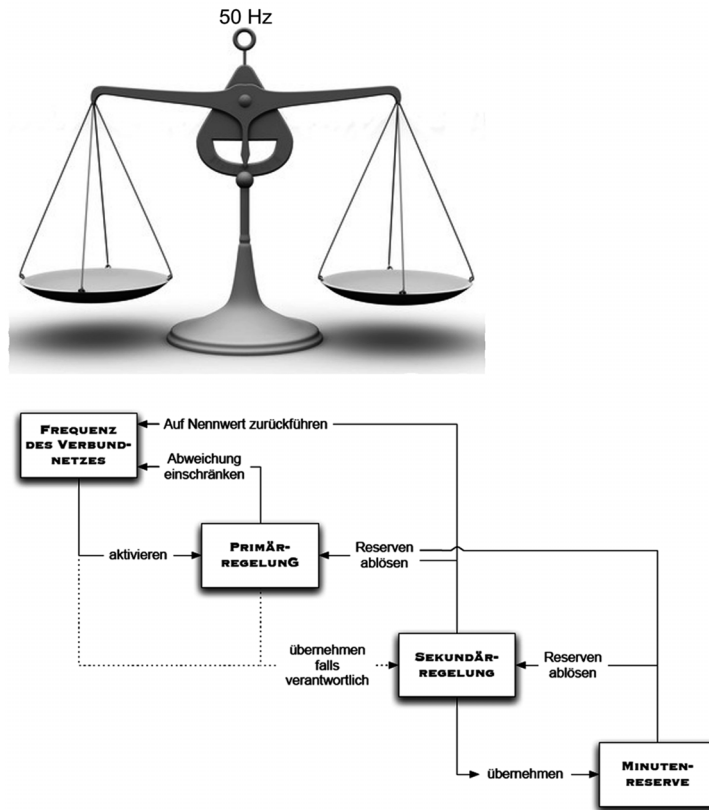


Abb. 1: Gleichgewichtsbedingung der elektrischen Energieversorgung.

kann für eine bestimmte Zeit abgeschaltet werden, ohne dass es zu Schwierigkeiten kommt. Eine elektrische Speicherheizung kann in ihrem Aufladungsprozess ebenfalls in Grenzen der Erzeugung angepasst werden. Eine Aluminiumschmelze in einem Hochofen benötigt allerdings kontinuierlich Energie und kann daher nicht abgeschaltet werden, falls eine Komponente der elektrischen Energieversorgung ausfällt. Im privaten Bereich würde es auch nicht akzeptiert werden, wenn die elektrische Energieversorgung unerwartet ausfällt bzw. aufgrund eines Ausfalls einer Erzeugungsanlage abgeschaltet würde und somit z.B. kein Licht oder kein Unterhaltungsmedium zur Verfügung stünden.

Die nachstehende tabellarische Zusammenstellung der Maßnahmen bei Änderung der Frequenz soll zeigen, welche zum Teil sehr gravierenden Maßnahmen notwendig sind, um das System stabil zu halten bzw. Teile des Systems vor Schäden zu bewahren. Daraus ist auch abzuleiten, welche erheblichen Vorkeh-

Tabelle 1: Liste der Maßnahmen bei Frequenzabsenkung.

Stufe	Frequenz	Maßnahmen zur Kompensation bzw. zum Schutz
1	49,8	Einsatz von Regelleistung
2	49	sofortiger Abwurf von 10...15% der Netzlast
3	48,7	sofortiger Abwurf von weiteren 10...15% der Netzlast
4	48,4	sofortiger Abwurf von weiteren 10...15% der Netzlast
5	47,5	Netztrennung der Kraftwerke

rungen getroffen werden, damit die in der Tabelle aufgeführten Maßnahmen nicht ausgeführt werden müssen.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass auch Frequenzerhöhungen eintreten können, wenn die Erzeugung größer als der Verbrauch ist. Es wäre nun technisch einfach, die Erzeugung dem Verbrauch anzupassen, aber hier sind dann Bedingungen zu beachten, die nichttechnischer Art sind. Das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) sieht eine bevorzugte Erzeugung aus erneuerbaren Quellen vor. Diese Erzeugung ist aber nicht immer in unmittelbarer Nähe der Verbraucher, so dass ein Transport der elektrischen Energie erforderlich ist und dafür entsprechende Transportkapazitäten zur Verfügung stehen müssen. Falls dieses nicht der Fall ist, sind Instabilitäten des Systems zu erwarten.

Eine Besonderheit stellen zurzeit noch Photovoltaik Anlagen dar. Aufgrund von Besonderheiten in der Regelung dieser Anlagen erfolgt bei einer Frequenzüberschreitung eine sofortige Abschaltung, so dass bei starker Sonneneinstrahlung und geringem Verbrauch eine Situation entstehen kann, in der zu einem Zeitpunkt eine hohe Erzeugung abgeschaltet wird. Eine unmittelbare Kompensation ist aufgrund der vorangegangenen niedrigen Last und der damit verbundenen Reduktion der Erzeugung aus anderen Quellen unter Umständen nicht möglich, so dass auch in diesem Fall eine Instabilität des Systems eintreten kann. Um dieses zu verdeutlichen, soll eine einfache und sicherlich extreme Berechnung vorgenommen werden. Die installierte Leistung der Photovoltaik Anlagen in Deutschland beträgt 2011 ca. 20 GW. Ein Ausfall dieser Leistung würde den Einsatz von ca. 15 Großkraftwerken bedeuten, wenn von einer Leistung pro Großkraftwerk von 1,3 GW ausgegangen wird (Kernkraftwerke haben eine Leistung von ca. 1,3 GW).

Mit der weiteren Zunahme von Photovoltaik Anlagen würde die Situation noch kritischer werden, so dass Regelungen in Kraft treten werden, die eine plötzliche Abschaltung nicht mehr zulassen, sondern eine geregelte Leistungsabnahme bei den Photovoltaik Anlagen vorsehen.

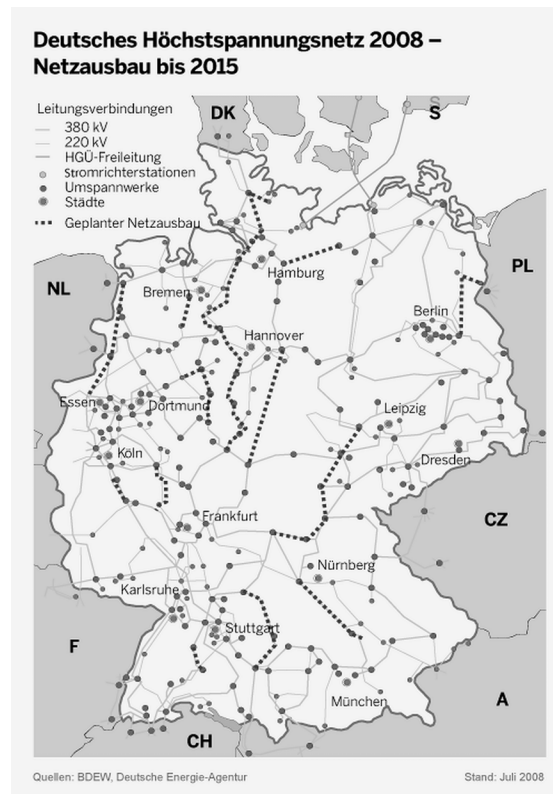


Abb. 2: Planung der Höchstspannungsnetze im Jahre 2008 (vor der Entscheidung über die Abschaltung aller Kernkraftwerke)

## Verbundnetze

Die Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung wird durch den Verbund der Erzeuger in einem erheblichen Umfang gewährleistet. Da Erzeugung und Verbrauch aber nicht am selben Ort erfolgen, sind Transportsysteme notwendig, die als Übertragungssysteme oder Hoch- bzw. Höchstspannungsnetze bezeichnet werden. Abb. 2 zeigt eine Momentaufnahme der Planung bis zum Jahre 2015, die im Jahre 2008 prognostiziert wurde, also vor dem Zeitpunkt der politischen Entscheidung, den Betrieb der Kernkraftwerke bis zum Jahre 2020 einzustellen. Diese gibt aber trotzdem bereits einen Eindruck über die notwendige Verstärkung der Höchstspannungsnetze, die durch die neueren Entscheidungen noch erhöht wurde.

### **Konsequenzen der Abschaltung der Kernkraftwerke**

Es wird an vielen Stellen behauptet, dass die Abschaltung der Kernkraftwerke keine Probleme bezüglich der Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung bereitet. Diese Aussage ist nicht grundsätzlich falsch, aber auch nicht grundsätzlich richtig. Als Beleg sollen ein paar Zahlen aus dem Jahr 2011 dienen, die zwar extreme Situationen darstellen, aber für eine Bewertung der vergangenen und zukünftigen Situationen geeignet sind. Am 11. März 2011 stand eine Leistung aus Windkraftanlagen in Höhe von ca. 18 GW und aus Solaranlagen von ca. 5 GW zur Verfügung. Der Export von Leistung betrug ca. 10 GW. Am 23. März 2011 nach der Abschaltung von einigen Kernkraftanlagen betrug die Leistung aus Windkraftanlagen ca. 2 GW und aus Solaranlagen 0 GW (während der Nacht) und es war ein Import von ca. 6 GW erforderlich. Als Konsequenz aus diesen Beispielen ist eindeutig abzulesen, dass bei dem hohen angestrebten Anteil von Erzeugung aus regenerierbaren Quellen, die aber dargebotsabhängig sind, eine wirtschaftliche Speichermöglichkeit von Energie unbedingt erforderlich ist und dabei beachtet werden muss, dass die universelle Anwendung elektrischer Energie mehr oder weniger erhalten bleiben muss und andere Energieformen nur bedingt genutzt werden können.

### **Diagnose als Beitrag zur Zuverlässigkeit**

Die Komponenten der elektrischen Energieversorgung wie Transformatoren, Kabel, Freileitungen, Schalter usw. unterliegen einem Alterungsprozess, der im Wesentlichen durch die Änderung der elektrischen Eigenschaften der Isoliersysteme beschrieben werden kann, da in fast allen Komponenten Hochspannung zum Einsatz kommt. Für eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Isoliersysteme wurden zahlreiche Diagnosemethoden entwickelt, die in Abhängigkeit ihrer Anwendung während des Betriebes oder außerhalb des Betriebes eingesetzt werden können. Mit Hilfe von Erfahrungswerten und verschiedenen Auswertemethoden können dann Maßnahmen festgelegt werden, die einen Beitrag zur Zuverlässigkeit liefern und wirtschaftlich vertretbar und möglich sind.

### **Schlussbemerkung**

Die elektrische Energieversorgung ist in Deutschland sehr zuverlässig und wir sind in der Zuverlässigkeitsstatistik im europäischen Netz auf dem ersten Platz. Diese Position sollten wir auch in Zukunft behalten, aber dazu sind Anstrengungen wie Netzausbau notwendig, da die geplante Erzeugung aus regenerierbaren Quellen nicht an den Orten stattfinden kann an denen die Energie benötigt wird. Die technische Lösung dieser Aufgaben ist kein Problem, aber für die Akzeptanz und das Verständnis der notwendigen Maßnahmen sind noch weitere Bemühungen erforderlich.



## Die Monodia des Marcus Antonius Muretus zum Tod des Pariser Parlamentspräsidenten Christophe de Thou (1583) – Idealbilder von Humanismus und Gerechtigkeit\*

WALTHER LUDWIG

Reventlowstr. 19, D-22605 Hamburg

Der Leipziger Universitätsdozent Friedrich Wolfgang Reitz trug am 18. April 1766 in das Stammbuch des Studenten Carl Benedikt Schmidt ein: *Est senium iuvenile seniliter acta iuventus* („Ein jugendliches Alter beruht auf einer alt, d.h. mit der Weisheit des Alters, verbrachten Jugend“). Der Hexameter stammt aus dem 1583 verfaßten und *Monodia* betitelten Trauergedicht des damals in Rom lebenden französischen Humanisten Marcus Antonius Muretus für den Pariser Parlamentspräsidenten Christophe de Thou. Muret war zu seiner Formulierung über das *senium iuvenile* durch eine Äußerung in Ciceros *Cato* und ein *Adagium* des Erasmus angeregt worden. Als Stammbucheintrag dient der Vers als moralische Mahnung. Er beweist zugleich, daß die Werke Murets, die in zahlreichen Ausgaben verbreitet waren, noch in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts gelesen und geschätzt wurden.

Als Muret sein Trauergedicht 1583 Christoph de Thous Sohn, dem späteren Historiker Jacques Auguste de Thou aus Rom schickte, bat er ihn, vor einem Druck Theologen der Sorbonne um ein Urteil zu bitten, da er fürchte, daß daran Anstoß genommen werden könnte, daß er „nach Art der Dichter“ Astraea eine Göttin genannt habe. Er versichert, daß unter dem ovidischen Namen der Astraea von ihm nichts anderes verstanden werde als die göttliche Gerechtigkeit. Das wirkt übervorsichtig, aber Muretus mußte es wissen: er hatte seine Erfahrungen mit der französischen Inquisition, die ihn 1553 zweimal wegen Häresie angeklagt hatte und der er schließlich nur durch die Flucht nach Italien entkommen war. Der von Murets Freund Constantinus verfaßte Kommentar wehrt noch eine andere mögliche religiöse Kritik ab, nämlich Murets Äußerung, daß der verstorbene Christophe de Thou nun vom Himmel auf Paris herabblicke. Man solle den

---

\* Kurzfassung des am 11.02.2011 in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

Text so verstehen, daß er mehr aus der Hoffnung und dem Wunsch heraus gesprochen sei als aus sicherem Wissen. Auch der Heilige Ambrosius habe so von christlichen Kaisern nach ihrem Tod gesagt, daß sie vom Himmel herabschauten. Es wird deutlich, wie vorsichtig man 1583 in Frankreich und Italien lavieren zu müssen glaubte, um bei den Religionswächtern keinen Anstoß zu erregen.

In dem Trauergedicht folgen die drei obligaten Themen einander: Trauer (V. 1–34: die Todesnachricht), Lob (V. 25–151: Rückblick auf de Thous Leben von seiner Kindheit bis zu seinem Tod) und Trost (V. 152–180: Blick auf de Thou im Himmel und seinen Sohn und die Schwiegersöhne in Paris). Die Lebensbeschreibung gestaltete er durch die Konzentrierung auf wenige Fakten und deren idealisierende Ausschmückung zu einem durchweg vorbildhaften und idealtypischen Lebensbild. Eingehend behandelt Muret de Thous ideale humanistische Unternehmung. Ein mythologisches Allegorem sorgt für Einprägsamkeit. Er zeichnet den humanistischen Unterricht als Besteigung des zweigipfeligen Parnass und erfindet dafür, daß der eine Gipfel die lateinische, der andere die griechische Sprache und Literatur repräsentiert. Die Betonung des Griechischen steht im Zusammenhang mit seinem Kampf gegen die damals häufige Geringschätzung und Vernachlässigung des Griechischen im katholischen Raum. Ein zweiter Schwerpunkt der Biographie liegt in der Charakterisierung de Thous als idealer Richter. Sie wirkt gleichfalls durch ein mythologisches Allegorem. Astraea, die personifizierte Gerechtigkeit, die in Ovids Metamorphosen die Erde verließ, nachdem „Betrügereien, Listen, Nachstellungen, Gewalt und die verbrecherische Habsucht“ sich auf der Erde eingenistet hatten, residiert hier in Paris, wo jetzt die Personifikationen des Unrechts umgekehrt aus der Stadt fliehen. In ihrem Tempel, dem Pariser Parlament, setzt Astraea den gerechten Richter de Thou als Präsidenten ein. Nachhaltig wirkende exemplarische Bilder findet Muret auch sonst, z. B. wenn er, eine Anregung aus Ciceros *Cato* verwertend, de Thous Tod im hohen Alter als das Herabfallen einer reifen Frucht und wie das Erlöschen einer Lampe erscheinen läßt („wie die goldene Blüte des glänzenden Feuers die trockene Lampe verläßt, wenn ihr Öl verbraucht ist, so verließ sein heiliger Geist die vom Alter kranken und Lebenssaft entbehrenden Glieder und strebte zum Himmel“).

Murets Werke waren im 16.–18. Jahrhundert bei gebildeten Katholiken und Protestanten im europäischen Raum bis Reval und Narwa verbreitet. Sie wurden von Schülern und Erwachsenen gelesen. 1789 gab David Ruhnken in Leiden eine neue Gesamtausgabe heraus. Sie wurde 1834 von Carl Heinrich Frotcher revidiert und in Leipzig neu gedruckt, und diese Ausgabe erschien noch 1971 in Genf in einem anastatischen Nachdruck.

Eine ausführlichere Fassung des Vortrags erscheint demnächst in: Ivo Volt, Hrsg., *Quattuor Lustra: Papers celebrating the 20th Anniversary of the Reestablishment of Classical Studies at the University of Tartu* (Acta Societatis Morgensternianae 4–5), Tartu 2011/2012.

## **Feierliche Jahresversammlung 13. Mai 2011**

### **Carl Friedrich Gauß-Kolloquium Gehirn und Sprache**

#### **Multimodale funktionelle Bildgebung und neuro-vaskuläre Kopplung\***

PROF. DR. HANS KOCH

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Abteilung „Medizinphysik und Metrologische Informationstechnik“  
Abbestraße 2-12, D-10587 Berlin

Eines der „Werkzeuge“, derer sich die Preisträgerin im Rahmen ihrer psycholinguistischen Forschungsarbeiten bediente, ist die funktionelle Bildgebung des Gehirns. Dieser Beitrag zum Carl-Friedrich-Gauß-Kolloquium „Gehirn und Sprache“ führt in die verschiedenen Techniken und Modalitäten der funktionellen Bildgebung und die zu Grunde liegenden Mechanismen ein. Dabei werden insbesondere die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRI) und die Magnetoencephalographie (MEG) betrachtet, also die beiden Bildgebungsverfahren, die Frau Prof. Friederici schwerpunktmäßig einsetzt, um Hirnaktivitäten, die durch dezidierte Aufgaben stimuliert werden, spezifischen Hirnregionen zuzuordnen. Aus dem Zusammenspiel von linguistischen Reizen und ausgelösten neuronalen Aktivitäten, insbesondere der Kommunikation spezialisierter Hirnareale untereinander, lassen sich Hypothesen zur Sprachverarbeitung im Gehirn überprüfen und neue Zusammenhänge erschließen.

Die Wahl zweier sich ergänzender Methoden, also der multimodale Ansatz, hat den Vorteil, dass die jeweiligen Stärken von fMRS und MEG genutzt und deren Schwächen kompensiert werden.

MEG, also das magnetische Äquivalent der Elektroencephalographie (EEG), besitzt als Vorteil die hervorragende zeitliche Auflösung, allerdings verbunden mit dem Nachteil einer nur groben Ortsauflösung. fMRI hingegen liefert her-

---

\* Kurzfassung des am 13.05.2011 beim Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.

vorrangende Details der Hirnstruktur – neuerdings gelingt sogar die Darstellung der Nervenfaserverstrukturen durch das so genannte Diffusion Tensor Imaging (DTI) –, aber die zeitliche Abfolge der Kommunikation zwischen verschiedenen Hirnarealen ist damit weniger zufriedenstellend erfassbar.

Begründet ist dieser Unterschied zwischen beiden Methoden durch die Mechanismen, die zur Signalentstehung führen: das MEG detektiert die Ionenströme, also die elektrophysiologischen, primären Vorgänge im Hirn, während die fMRI-Bildgebung auf dem sogenannten BOLD-Effekt beruht (BOLD = blood oxygenation level dependence): diejenigen Hirnregionen, die aktiv sind, benötigen zusätzliche Energie, die sie in Form von mit Sauerstoff angereichertem Blut zugeführt bekommen. Dadurch, dass oxygeniertes Hämoglobin andere magnetische Eigenschaften aufweist als nicht-oxygeniertes Hämoglobin, lässt sich dies als kontrasterzeugender Effekt in der MR-Bildgebung ausnutzen. Bezüglich der Signalentstehung also ein sekundärer Effekt im Vergleich zu den Reizleitungsströmen, die beim MEG detektiert werden.

Im Vortrag werden einige Facetten in diesem Kontext näher beleuchtet:

- Das „Inverse Problem“, also die Aufgabe, aus den Signalen die Quellen der Signale (d.h. die betroffenen Hirnareale) zu lokalisieren.
- Die Lösung des „Party-Problems“, mit anderen Worten: wie werden verschiedene Signalquellen getrennt, wenn alle „durcheinander reden“. Ein prinzipieller Lösungsansatz wäre das Gaußsche Eliminationsverfahren, das an dieser Stelle aus gegebenem Anlass erwähnt werden sollte.
- Die experimentelle Untersuchung der neuro-vaskulären Kopplung, also des Zusammenspiels von neurologischer Elektrophysiologie und vaskulärer Antwort, d.h. der erhöhten Zufuhr von oxigeniertem Blut. Hierzu fanden in der PTB quantitative Experimente statt.
- Neueste Entwicklungen, MR-Bildgebung und MEG in einem Messsystem zusammenzufassen mit der Methode der Niedrigfeld-MR, ebenfalls ein Thema, dass in der PTB zurzeit verfolgt wird.

Das hier vorgestellte Instrumentarium ist somit Teil des sehr viel umfangreicheren interdisziplinären Handwerkzeugs, dessen sich die Preisträgerin virtuos bedient, um zu den faszinierenden Erkenntnissen zu gelangen, die sie heute vorstellt.

## **Die Sprache der Neurone: Lernen, Gedächtnis und Vergessen\***

MARTIN KORTE

Zoologisches Institut, TU Braunschweig  
Spielmannstraße 7, D-38106 Braunschweig

Unser Gehirn muss eine ungeheuer komplizierte Aufgabe erfüllen: Es muss einen kontinuierlichen Fluss an Sinnesinformationen verarbeiten und zur gleichen Zeit Erinnerungen, zum Teil für ein Leben lang, speichern und abrufen. Die Transmission von chemischen Botenstoffen zwischen Nervenzellen erfolgt dabei ebenso an den Synapsen wie das Generieren und Speichern neuer Informationscodes. Es muss bei hierbei immer ein Gleichgewicht hergestellt werden zwischen dem Abspeichern neuer Informationen und dem Erhalt vorhandenen Wissens. Welche Mechanismen und welche biochemischen Prozesse aber ermöglichen die Lern- und Gedächtnisvorgänge, was bedingt Vergessen?

Die Fähigkeit, etwas zu lernen und im Gedächtnis zu behalten, ist über das Tierreich nicht gleich verteilt. Bei uns Menschen beispielsweise sind Effektivität und Kapazität von Lern- und Gedächtnisvorgängen besonders stark ausgeprägt und halten bis in das hohe Lebensalter hin an. Unsere diesbezüglichen Fähigkeiten sind neben unserer Sprache Grundlage und Voraussetzung unserer Kultur und unserer individuellen Persönlichkeit. Umgekehrt führt der Verlust des Gedächtnisses zum Verlust unserer Biographie und damit unsere Persönlichkeit sowie zum Verlust der Möglichkeit mit anderen Menschen interagieren zu können. Dem entsprechend ist das Thema Lernen und Gedächtnis eines der Hauptanliegen der Neurobiologie.

### **„Das“ Gedächtnis gibt es nicht**

Von entscheidender Bedeutung für die Erforschung menschlicher Gedächtnisfunktionen sind neben tierexperimentellen Untersuchungen und modernen bildgebenden Verfahren vor allem die Analyse von neurologischen Patienten mit auffälligen Gedächtnisdefiziten. Denn die physiologischen Grundlagen von

---

\* Der Vortrag wurde am 13.05.2011 beim Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Lern- und Gedächtnisvorgängen können zwar tierexperimentell sehr gut untersucht werden, die Bedeutung des Gedächtnisses für Menschen wird aber erst an Patienten verdeutlicht, die spezifische Fehlfunktionen aufweisen.

Fallbeispiel: Einer der wohl berühmtesten neurologischen Patienten ist Henry M. (H.M.). Ihm wurden wegen unbehandelbarer epileptischer Anfälle und anderer psychiatrischer Störungen im Jahre 1953 Teile der beiden Schläfenlappen, einem Teil der Großhirnrinde, zusammen mit dem Hippokampus und der Amygdala (Mandelkern) entfernt – alles Hirnstrukturen, von denen man heute weiß, dass sie an Gedächtnisprozessen maßgeblich beteiligt sind. Unmittelbar nach der Operation traten bei H.M. ernsthafte Gedächtnisstörungen auf, die bis zum heutigen Tag anhalten. Heute erkennt er nicht einmal sich selbst auf einem aktuellen Photo, da er sich nicht an sein verändertes Aussehen erinnern kann. Wie man heute weiß, war das eigentlich Fatale an der Operation, dass beide Hippokampi (einer in jeder Hemisphäre) entfernt wurden. Die daraus resultierenden Defizite von H.M. beschränken sich fast ausschließlich darauf, dass er sich neue Fakten, Gesichter, Umstände oder Episoden nicht mehr merken kann (er leidet unter einer „anterograden Amnesie“), während sein I.Q., seine Wahrnehmungsleistungen und sein Kurzzeitgedächtnis (bis zu drei Minuten) nicht beeinträchtigt sind. Erstaunlicherweise ist auch seine Lernfähigkeit für motorische Fähigkeiten (prozedurales Gedächtnis) vollständig intakt ebenso wie sein Sprachvermögen. H.M. zeigt auf dramatische Weise, wie eng wir als Person von unserem Gedächtnis abhängen (Ref. 11).

Die Untersuchung von H.M. und vieler anderer Patienten war ein wichtiger Schritt, um zum einen den Hippokampus als eine der entscheidenden Gedächtnisstrukturen für episodisches (autobiographisches) und semantisches (Fakten) Gedächtnis zu identifizieren; zum anderen, um zwischen neuronalen Strukturen zu unterscheiden, die für das Kurzzeitgedächtnis und solchen die für das Langzeitgedächtnis wichtig sind (Ref. 9). Der Hippokampus ist zwar nicht der Ort des Gedächtnisses (die Kindheits- und Jugenderinnerungen von H.M. waren intakt), aber ein bestimmter Typ von neuen Informationen muss den Hippokampus durchlaufen, bevor diese dauerhaft in der Grosshirnrinde abgelegt werden können. Der Fall H.M. lieferte erste Anhaltspunkte dafür, dass es „das“ Gedächtnis im Gehirn nicht gibt, sondern verschiedene Gedächtnisformen, die mit verschiedenen Gehirnarealen verknüpft sind.

In einem Teil der gerade beschriebenen neurobiologischen Forschung über Lern- und Gedächtnisvorgänge im Gehirn wird untersucht, welche Hirnstrukturen in welchem Ausmaße daran beteiligt sind, etwas zu lernen oder das Gelernte als Erinnerung abzuspeichern. Interessant ist es aber auch, zu verstehen, wie die Abspeicherung von Gedächtnisinhalten auf der Ebene einzelner Nervenzellen funktioniert und welche molekularen Vorgänge den Prozessen der Informationsspeicherung zugrunde liegen.

### Wie speichert das Gehirn Informationen?

Zurückgehend auf Hypothesen von Charles Sherrington und Ramon y Cajal wurde im 20. Jahrhundert angenommen, dass die Fähigkeit, flüchtige Erlebnisse in eine schier endlose Zahl von Gedächtnisinhalten transferieren zu können, darin begründet liegt, dass sich die Effizienz synaptischer Übertragung zwischen Nervenzellen verändert. Nervenzellen sollen sich in ihren In- und Outputcharakteristika und/oder in ihrer Struktur aufgrund von neuronaler Aktivität an Veränderungen in ihrer lokalen Umgebung anpassen können. Dies bezeichnet man auch als neuronale Plastizität.

Die mechanistische Grundlage für die Idee, dass Synapsen ihre Effektivität ändern können, formulierte D.O. Hebb schon 1949 sehr klar. Er machte sich vor allem Gedanken darüber, welchen Algorithmus eine bestimmte Kombination von Reizen haben muss, um zu spezifischen Veränderungen an Synapsen zu führen. Gemäß diesem heute als „Hebbsche Regel“ bezeichneten Modell wird eine Synapse dann verstärkt, wenn prä- und postsynaptische Nervenzellen in einem gleichen, sehr engen Zeitfenster aktiv sind (Assoziativitätsregel).

### Entdeckung der Langzeitpotenzierung

Es ist mittlerweile eine allgemein akzeptierte Tatsache, dass der Hippokampus eine Gehirnregion bei Säugetieren, also auch beim Menschen, darstellt, die entscheidend an bestimmten Lern- und Gedächtnisvorgängen beteiligt ist. Zum einen ist vielfach belegt, dass eine Schädigung des Hippokampus zu einer anterograden Amnesie führt (siehe Patient H.M.), zum anderen gelang in den Experimenten von Bliss und Lømo 1973 der Nachweis, dass es im Hippokampus aktivitätsabhängige synaptische Verstärkungen gibt.

In der CA1-Region des Hippokampus kann durch Reizung der CA3-Fasern (Schaffer-Kollateralen) und gleichzeitiger Depolarisation der CA1-Pyramidenzellen oder durch hochfrequente Reizung der CA3-Fasern allein eine besonders robuste Form von synaptischer Verstärkung induziert werden, die man als Langzeitpotenzierung (long-term potentiation oder auch LTP) bezeichnet (Ref. 1, 6). Werden hierbei die Fasern durch entsprechende Teststimuli aktiviert, so kann man in den CA1-Neuronen erregende postsynaptische Potentiale (EPSP's) auslösen, die wesentlich größer sind als vor dem Ereignis einer hochfrequenten Stimulation, die einen Lernvorgang simulieren soll. Da die verstärkende Wirkung nur zustande kommt, wenn prä- und postsynaptische Zellen gleichzeitig aktiviert werden, wird diese Form der synaptischen Plastizität als zellulärer Modellmechanismus für assoziative Lernvorgänge angesehen (Ref. 2, 5, 10).

Die Entdeckung der Langzeitpotenzierung lieferte schließlich eine zelluläre Basis für die oben formulierte Hebbsche Lernregel. Neben der Verstärkung an Synapsen konnte bei antikorrelierter Aktivität oder nur leicht erhöhter Aktivi-

tät auch eine Abschwächung der synaptischen Effektivität beobachtet werden, dieser Prozess wird als Langzeitdepression (LTD, siehe unten) bezeichnet.

### **Biochemische Abläufe bei der Langzeitpotenzierung**

Obwohl LTP einer der am besten untersuchten neurobiologischen Prozesse ist, ist dennoch unklar, durch welche Signalwege die Langzeitpotenzierung aufrechterhalten wird und inwieweit dabei strukturelle Veränderungen an Neuronen eine Rolle spielen. Dennoch ist zumindest teilweise klar, welche biochemischen Ereignisse an bestimmten Synapsen im Säugerhirn für die Induktion synaptischer Verstärkung verantwortlich sind.

Am besten untersucht sind diese biochemischen und molekularen Ereignisse im Hippokampus von Nagetieren. Hier konnte gezeigt werden, dass der Grund für die hohe zeitliche Koinzidenz der Reize (Assoziationsregel von Hebb) auf molekularer Ebene an den Eigenschaften des spannungs- und ligandenabhängigen NMDA-Rezeptors liegt (Ref. 1). Der NMDA-Rezeptor ist ein Glutamat bindendes, kationenselektives und durch Magnesiumionen ( $Mg^{2+}$ ) im Ruhezustand blockierbares Membranprotein. Er ist nur bei gleichzeitiger prä- und postsynaptischer Aktivität Calcium( $Ca^{2+}$ )-permeabel, da Glutamat an den Rezeptor binden muss. Gleichzeitig muss die Membran des Rezeptors depolarisiert sein, damit der  $Mg^{2+}$ -Block aus dem zum NMDA-Rezeptor gehörenden Kanal entfernt wird.  $Ca^{2+}$  setzt dann in der postsynaptischen Zelle als sekundärer Botenstoff eine Reihe von Signalkaskaden in Gang, zu denen vor allem Proteinkinasen gehören, die ihre Zielproteine phosphorylieren. Eine einfache Hypothese geht davon aus, dass der Einstrom von  $Ca^{2+}$  vor allem zu einer Aktivierung der Proteinkinase CAMKII ( $Ca^{2+}$ -calmodulinabhängige Proteinkinase II) führt, welche AMPA-Rezeptoren an spezifischen Stellen phosphoryliert und damit deren Öffnungsdauer verlängert. AMPA-Rezeptoren sind neben NMDA-Rezeptoren die wichtigsten Ionenkanalassoziierten Glutamaterezeptoren und im Unterschied zu den NMDA-Rezeptoren vermitteln sie die basale synaptische Transmission. Bindet nun, nachdem der NMDA-Rezeptor aktiviert wurde, bei erneuter präsynaptischer Aktivierung Glutamat an den AMPA-Rezeptor, hat dieser eine längere Öffnungszeit und die Amplitude des postsynaptischen Potentials ist durch den entsprechend größeren Natriumeinstrom erhöht. Die Synapse ist stärker geworden. Alternativ könnten durch die Phosphorylierung weiterer Zielproteine mehr AMPA-Rezeptoren in die Membran eingebaut werden, was zu dem gleichen Ergebnis einer verstärkten synaptischen Effizienz führen würde.

Somit ist die Auslösung von LTP ein postsynaptisches Phänomen, während die Aufrechterhaltung von LTP wohl auf prä- wie postsynaptischen Mechanismen beruht (Ref. 6). Veränderungen in der nachgeschalteten Zelle könnten also unter Berücksichtigung retrograder Botenstoffe auf die präsynaptischen Endigungen rückgekoppelt wirken in dem sie zur Präsynapse diffundieren und dort dau-



erhaft die Transmitterausschüttung erhöhen, eventuell ebenfalls durch Phosphorylierungen von spezifischen Proteinen. Als mögliche Botenstoffe sind hier Stickstoffmonoxid (NO), Arachidonsäure und Nervenwachstumsfaktoren wie BDNF (brain-derived-neurotrophic-factor), im Gespräch (Ref. 4, 6).

### Untersuchungen eines Nervenwachstumsfaktors

An dieser Stelle sei exemplarisch auf die Untersuchungen zum BDNF eingegangen. BDNF gehört zur Genfamilie der Neurotrophine oder auch Nervenwachstumsfaktoren, zu denen auch NGF (nerve-growth-factor) gehört. Neurotrophine wurden bis vor wenigen Jahren vor allem unter dem Aspekt der Regulation des Überlebens und der Differenzierung bestimmter Neuronenpopulationen in der embryonalen Entwicklung und in der Aufrechterhaltung spezieller Funktionen dieser Nervenzellen im adulten Tier gesehen. Es gibt zwei Rezeptorklassen, an die Neurotrophine binden: Einerseits die zu den Tyrosinkinasen (Trk) gehörenden Trk-Rezeptoren, welche durch Autophosphorylierung nach Bindung eines spezifischen Neurotrophin-Dimers aktiviert werden. Daneben gibt es noch ein weniger gut verstandenes zweites Rezeptorsystem, den Neurotrophin-Rezeptor p75, der alle Neurotrophine binden kann.

Im Laufe der letzten Jahre ist gezeigt worden, dass Neurotrophine auch an aktivitätsabhängigen synaptischen Prozessen im heranwachsenden und adulten Gehirn von Säugetieren beteiligt sein können. Insbesondere konnte für BDNF gezeigt werden, dass es bei Applikation von BDNF zu einem grösseren EPSP an CA3-CA1-Synapsen im Hippokampus kommt und dass es die synaptische Transmission steigern kann, wie man es für einen retrograden Botenstoff erwarten würde (Ref. 8).

### Induziert dieser Nervenwachstumsfaktor die Langzeitpotenzierung?

Um die Fragestellung zu beantworten, ob BDNF an der Induktion von LTP beteiligt ist, wurden BDNF-defiziente Mäuse untersucht, die mit der Methode des gezielten Genaustausches hergestellt worden waren. Diese Methode beruht darauf, dass das zu erforschende Gen ausgeschaltet wird, indem man an der entsprechenden Stelle auf dem richtigen Chromosom einen Teil oder die gesamte Nukleotidsequenz des Gens durch eine geeignete andere Sequenz mithilfe der homologen Rekombination ersetzt. Die Methode wurde auch bei vielen anderen Molekülen, die an LTP beteiligt sein könnten, angewendet. Sie wird als *gene targeting* (gezielter Genaustausch), die daraus resultierenden Mäuse als *knock-out* (KO)- Mäuse bezeichnet.

An den BDNF-KO-Mäusen wurde nun speziell untersucht, ob die synaptischen Verknüpfungen zwischen CA3-CA1-Pyramidenzellen in akuten hippocampalen Schnitten verändert waren. Dabei konnte gezeigt werden, dass in homo- und heterozygoten BDNF-KO-Mäusen die Häufigkeit der LTP-Induktion und auch

die Stärke der LTP-Expression vermindert sind (Ref. 7). Alle Kontrollexperimente im Hippokampus dieser BDNF-KO-Tiere ergaben bezüglich der synaptischen Transmission, der Pharmakologie sowie der Morphologie der Neurone und der Anatomie des Hippokampus keine Unterschiede zu Mäusen des Wildtyps. Aber zeigen die Tiere ein verändertes Lernverhalten? – Die homozygoten BDNF-KO-Tiere sind nur 20–30 Tage nach der Geburt lebensfähig, mit ihnen kann man keine Verhaltensuntersuchungen machen. Die heterozygoten Tiere wurden in Verhaltenstest untersucht und zeigten einen Defekt im „Morris-Water-Maze“, mit dem man das räumliche Lernen von Mäusen testet.

Ähnliche Experimente mit dem gleichen Lerndefekt wurden mit Mäusen durchgeführt, bei denen der Rezeptor für BDNF (der TrkB-Rezeptor) ausgeschaltet wurde. Diese Ergebnisse deuteten auf eine Rolle von BDNF und dem TrkB-Rezeptor bei aktivitätsabhängiger synaptischer Plastizität hin, bei der bestimmte Lernvorgänge entscheidend moduliert werden. Zu untersuchen bleibt, ob BDNF modulierend in die synaptische Verstärkung eingreift oder an elementaren Prozessen der synaptischen Verstärkung beteiligt ist. Interessant ist vor allem die Beobachtung, dass in den BDNF-KO-Tieren auch das langanhaltende LTP, welches als Voraussetzung für das Langzeitgedächtnis angesehen wird, stark vermindert ist.

### **Regulation durch Langzeitdepression**

Die Stärke einer Synapse wird nicht nur durch eine Verstärkung der synaptischen Transmission reguliert, sondern auch über eine Abschwächung. Dies ist schon deshalb nötig, um eine Übererregbarkeit der Pyramidenzellen im Hippokampus zu unterbinden und die Stärke der Transmission präzise einzustellen. Darüber hinaus muss verhindert werden, dass alle Synapsen im Hippokampus durch LTP auf Dauer maximal verstärkt werden und damit weitere aktivitätsabhängige plastische Vorgänge unmöglich sind.

Ein möglicher zellulärer Mechanismus, dies zu verhindern, ist die Langzeitdepression (LTD), die man an den gleichen Synapsen im Hippokampus finden kann, die auch LTP ausbilden können. Man kann LTD im Hippokampus auslösen, indem man die CA3-Fasern mit niedriger Frequenz (1–5 Hz) für längere Zeit stimuliert oder Nervenzellen antikorreliert reizt. Antikorreliert bedeutet hier, dass zwei Reize zeitlich nicht genau zusammenfallen, sondern immer leicht gegeneinander versetzt sind.

Die molekularen Grundlagen von LTD und LTP im Hippokampus sind sehr ähnlich: Entscheidend ist die Menge  $\text{Ca}^{2+}$ , die in die Zelle strömt. Während ein großer Einstrom von  $\text{Ca}^{2+}$  durch den NMDA-Rezeptor und anschließender Aktivierung von Proteinkinasen zu LTP führt, ergibt ein niedriger Einstrom zur Aktivierung von Phosphatasen und dann zu LTD. Der aktuelle Forschungsstand lässt darauf schließen, dass das Verhältnis zwischen Phosphorylierung und

Dephosphorylierung der gleichen Zielproteine bestimmt, ob LTP oder LTD im Hippokampus ausgebildet wird (Ref. 11). – Im Kleinhirn von Säugetieren gibt es eine andere Form von LTD, die ebenfalls sehr gut untersucht ist, die aber andere molekulare Mitspieler hat. Aber auch bei dieser Form von LTD spielt  $\text{Ca}^{2+}$  als sekundärer Botenstoff eine bedeutende Rolle.

### **Vom Kurz- zum Langzeitgedächtnis**

Wie aber werden Informationen vom Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis überschrieben? – Oder wie wird ein Gedächtnisinhalt konsolidiert, also dauerhaft, manchmal ein Leben lang als Erinnerung verfügbar gehalten? – Wieder bietet die Langzeitpotenzierung einen möglichen zellulären Mechanismus für diesen Vorgang: Bei der Langzeitpotenzierung werden mehrere zeitliche Phasen unterschieden, es gibt eine frühe Phase (E-LTP, early LTP), die direkt nach der Stimulierung einsetzt und ein bis drei Stunden dauern kann, und eine zweite Phase, die mindestens drei Stunden oder mehr andauert (L-LTP, long-lasting-LTP). Während die erste Phase unabhängig von der Proteinsynthese ist, ist bei der L-LTP die Proteinsynthese unablässig, um die Veränderungen an Synapsen dauerhaft wirksam werden zu lassen.

Wie die Genexpression genau reguliert wird ist noch nicht vollständig klar, einige molekulare Mitspieler konnten aber identifiziert werden. So ist eine dauerhafte Aktivierung der Proteinkinase A (PKA) durch zyklisches AMP (cAMP) bei so unterschiedlichen Tieren wie der Maus, der Fruchtfliege *Drosophila* und der Meeresschnecke *Aplysia* ('Seehase'), notwendig, damit Information in einen Langzeitspeicher umgeschrieben werden kann. Die PKA ihrerseits kann in den Zellkern diffundieren und dort zu einer Aktivierung des Transkriptionsfaktors CREB-1 führen. CREB-1 bewirkt die Aktivierung einer Gruppe unmittelbarer früher Gene (immediate early genes). Diese Genaktivierung könnte unter anderem die Entwicklung neuer synaptischer Strukturen einleiten (Ref. 11). Mäuse bei denen CREB-1 mittels gentechnischer Methoden inaktiviert wurde, zeigen dem entsprechend eine frühe, von der Proteinsynthese unabhängige Form von LTP, aber kein langanhaltendes LTP. Diese Tiere weisen außerdem in Verhaltensversuchen ein normales Kurzzeit-, aber ein defektes Langzeitgedächtnis auf. Unabhängig davon konnte auch gezeigt werden, dass die Proteinsynthese nicht nur im Soma, sondern auch direkt in den Dendriten stattfinden kann. Dendriten enthalten sowohl Ribosomen als auch mRNA, und zwar sowohl für Proteine des Zytoskeletts als auch für die schon erwähnt CAMKII. Der Vorteil einer dendritischen Proteinsynthese besteht darin, dass sie schneller erfolgen und am Ort des Lernens stattfinden kann. Sie könnte den Übergang vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis darstellen.

Neueste Befunde legen nahe, dass sich in der Tat auch die Anzahl der Synapsen bei der Aufrechterhaltung von LTP ändert (Ref. 3). Bei diesen Experimenten

wurde im Hippokampus nach gepaarter Stimulation von CA3-Fasern mit CA1-Pyramidenzellen festgestellt, dass nur dann auch neue postsynaptische Strukturen (spines) wachsen, wenn eine Langzeitpotenzierung beobachtet werden kann, während es keine strukturellen Veränderungen gab, wenn trotz erhöhter Stimulation kein LTP gefunden werden konnte. Man kann also mittlerweile direkt beobachten, dass funktionelle Veränderungen (Verstärkung einer Synapse) in strukturelle Veränderungen (Anzahl der Synapsen) übersetzt werden – eine Hypothese, die 100 Jahre alt ist, aber erst in den letzten Jahren auch experimentell überzeugend belegt werden konnte.

### **Viele Fragen bleiben**

Soviel auch über die biochemischen und molekularen Mechanismen der synaptischen Plastizität erforscht wurde, so gibt es doch auch noch viele offene Fragen: Zum einen ist nicht klar, welche Moleküle, Signale und Mechanismen zum Wachsen von Synapsen führen (strukturelle Plastizität), zum anderen ist unbekannt, welche präzise Bedeutung LTP oder LTD für Lernvorgänge bei Mensch und Tier haben, das heißt, es fehlt die Rückkopplung der zellulären Daten auf die Verhaltensebene. LTP/LTD könnten die kausale Grundlage, das zelluläre Korrelat für Lernvorgänge sein, sie könnten aber auch genauso gut für die Homöostase einer Synapse beziehungsweise Nervenzelle verantwortlich sein. Verhaltensexperimente, in denen der NMDA-Rezeptor im Hippokampus blockiert wurde, zeigten zwar, dass diese Tiere nicht mehr in der Lage sind, vom Hippokampus abhängige Lernaufgaben zu bewältigen, während vom Hippokampus unabhängige Lernformen intakt blieben. Umgekehrt konnte aber noch nicht beobachtet werden, dass sich bei einem lernenden Tier bestimmte Synapsen in ihrer Stärke *in vivo* verändern und diese Veränderung auch kausal für die Speicherung des Gelernten verantwortlich ist.

Eine wichtige Frage ist weiterhin, welche Moleküle essentielle Komponenten der LTP/LTD-Maschinerie sind und welche Moleküle nur einen modulierenden Einfluss haben? So wurden in den letzten zehn Jahren mehr als 120 Moleküle mit LTP in Verbindung gebracht und über 3000 Artikel zu diesem Thema publiziert (fast einer pro Tag). Es wird die Forschung aber trotzdem sicher noch einige Jahre beschäftigen herauszufinden, welches die entscheidenden molekularen Mitspieler sind und welche lediglich modulierend in das komplexe Geschehen der Informationsspeicherung im Gehirn eingreifen.

### **Zusammenfassung**

Die zellulären und molekularen Grundlagen von Lern- und Gedächtnisprozessen im Gehirn von Säugetieren sind in ersten Ansätzen verstanden. Vor allem was das Kurzzeitgedächtnis angeht, kann man zusammenfassen, dass die Lernprozesse an identifizierbaren synaptischen Punkten ablaufen. Sie sind nicht von

vorneherein auf großräumige und verteilte neuronale Netze angewiesen. Während zur Kurzzeitspeicherung keine großen Umstrukturierungen stattfinden müssen, hat man in den letzten Jahren überzeugende Belege gefunden, dass sich bei der Etablierung des Langzeitgedächtnisses die Anzahl und der Aufbau der Synapsen sowie das Muster der dendritischen Verzweigungen verändern kann. Diese Hypothese wird durch Versuche gestützt, die zeigen, dass bei der Inhibition der Proteinsynthese (als Voraussetzung für strukturelle Veränderungen), das Kurzzeitgedächtnis intakt, das Langzeitgedächtnis aber vollständig blockiert wird. Vor allem konnte nachgewiesen werden, dass bei der Aufrechterhaltung der Langzeitpotenzierung (LTP) auch neue Synapsen entstehen können und so funktionelle in strukturelle Veränderungen übersetzt werden. Ein interessanter molekularer Kandidat, der daran beteiligt ist, diese Veränderung in der Funktion (Verstärkung der Synapse) in eine Strukturveränderung (Neubildung von Synapsen) zu übersetzen, ist der Nervenwachstumsfaktor BDNF (brain-derived-neurotrophic factor).

Eine weitere wichtige Erkenntnis der letzten Jahre besteht darin, dass auf molekularer Ebene die Proteine, die für neuronale Plastizität essentiell sind, auch zwischen ganz verschiedenen Tierarten konserviert wurden. Außerdem sind bei aktivitätsabhängiger synaptischer Plastizität zum Teil die gleichen Moleküle von Bedeutung, die bei der postnatalen Entwicklung in der Organisation des Nervengewebes eine Rolle spielen. Gleichzeitig gibt es aber nicht nur einen einzigen molekularen Mechanismus, der neuronale Plastizität vermittelt: Die Physiologie von Nervenzellen hat mehrere synergistische, aber auch antagonistisch wirkende Mechanismen, die an der Modulierung von Signalkaskaden innerhalb und zwischen Zellen mitwirken können.

## Referenzen

- KORTE, M. (2008): Neuroscience. A protoplasmic kiss to remember. *Science* **319** (5870): 1627–1628; BLISS, T.V.P. & G.L. COLLINGRIDGE (1993): A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus. *Nature* **361**: 31–39.
- KORTE, M. (2009): Neuroscience. Bridging the gap and staying local. *Science* **324** (5934): 1527–1528, .
- ENGERT, F. & T. BONHOEFFER (1999): Dendritic spine changes associated with hippocampal long-term synaptic plasticity. *Nature* **399**: 66–70.
- ENGERT, F. & T. BONHOEFFER (2000): Verschwommene Erinnerungen – Synaptische Verstärkung und ihre lokalen Effekte. *Neuroforum* **1**: 157–164.
- KANDEL, E.R., J.H. SCHWARZ & T.M. JESSEL (2006): Neurowissenschaften – Eine Einführung, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

KANDEL, E.R. & R.D. HAWKINS (1992): Molekulare Grundlagen des Lernens **11**: 66–76.

KORTE, M., P. CARROLL, E. WOLF, G. BREM, H. THOENEN & T. BONHOEFFER (1995): Hippocampal long-term potentiation is impaired in mice lacking brain-derived neurotrophic factor. *Proc.Natl.Acad.Sci.USA* **92** (19): 8856–8860.

KORTE, M. & T. BONHOEFFER (1997): Activity-dependent synaptic plasticity: a new face of action for neurotrophins. *Molecular Psychiatry* **2**: 197–199.

MARKOWITSCH, H.J. (1996): Neuropsychologie des menschlichen Gedächtnisses. *Spektrum der Wissenschaft* **9**: 52–61.

REICHERT, H. (2000): Neurobiologie. 2. Aufl., Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

SQUIRE, L.R. & E.R. KANDEL (2009): Gedächtnis – Die Natur des Erinnerns, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

## **Ein Beitrag zum evolutionären Ursprung der Musik: Was kann uns die Gänsehaut lehren?<sup>1,2</sup>**

ECKART ALTENMÜLLER UND REINHARD KOPIEZ

Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover  
Emmichplatz 1, D-30175 Hannover

### **Die schwierige Frage: wer oder was hat die Musik erfunden?**

Es besteht allgemein Übereinstimmung, dass alle menschlichen Kulturen musikalische Aktivitäten ausübten und auch noch heute ausüben. Unter den ältesten kulturellen Artefakten findet man Flöten aus Rentier-, Schwanen- und Geierknochen und aus Mammut-Elfenbein. Die in der „Hohle-Fels“-Höhle und in der „Geissenklösterle“-Höhle nahe Blaubeuren gefundenen Instrumente sind etwa 35.000 Jahre alt. Interessant ist, dass die Griffelöcher so gebohrt sind, dass beim korrekten Anspielen an der Anblaskante und vollständigem Abdecken der Löcher mit den Fingern eine diatonische Tonleiter mit Ganz- und Halbtonschritten gespielt werden kann. Auf der „Geissenklösterle“-Flöte ist es sogar möglich, das Hauptthema aus Johann Sebastians Bachs „Kunst der Fuge“ zu spielen.<sup>3</sup> Nicholas Conard, – der Leiter der Ausgrabungen in der Hohle-Fels Höhle –, vermutet eine auf die Altsteinzeit zurückgehende kulturelle Tradition. Er spe-

---

<sup>1</sup> Der Vortrag wurde am 13.05.2011 im Rahmen der feierlichen Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

<sup>2</sup> Wir wollen diesen Beitrag dem Andenken von Prof. Dr. Werner Deutsch widmen. Werner Deutsch verstarb plötzlich am 12.10.2010. Er war nicht nur ein bedeutender Entwicklungspsychologe sondern auch ein unermüdlicher Musikenthusiast und Förderer des Austausches zwischen Wissenschaft und Kunst. Er war ein persönlicher Freund von Eckart Altenmüller. Eine deutlich erweiterte und veränderte englische Version des Beitrags wird im Jahr 2012 in dem Buch „Evolution of Emotional Communication: From Sounds in Nonhuman Mammals to Speech and Music in Man“ bei Oxford University Press, herausgegeben von Eckart Altenmüller, Elke Zimmermann und Sabine Schmidterscheinen.

<sup>3</sup> Münzel, S.C., Seeberger, F. & W. Hein, 2002. *The Geissenklösterle Flute – Discovery, Experiments, Reconstruction*. In: Hickmann, E.; Kilmer, A.D. & Eichmann, R. (Hrsg.). Studien zur Musikarchäologie III; Archäologie früher Klangerzeugung und Tonordnung; Musikarchäologie in der Ägäis und Anatolien. Orient-Archäologie Bd. 10. Verlag Marie Leidorf GmbH, Rahden/Westfalen, 107–118.

kuliert, dass sich diese diatonische Tonleiter als ein Charakteristikum der mitteleuropäischen Musik über Jahrzehntausende erhalten hat.<sup>4</sup>

Möglicherweise ist das eine zu romantische Idee, da wir ja gerade im oberen Donautal zahlreiche Siedlungsphasen mit Menschen unterschiedlichster geographischer Herkunft und damit unterschiedlicher kultureller Prägung nachweisen können. Die jungsteinzeitlichen Donaukulturen pflegten intensive Handelskontakte mit Osteuropa und Kleinasien, in der Bronzezeit bestanden Verbindungen zur baltischen Kultur, Kelten und Frühgermanen wurden von den Römern kolonialisiert, Alemannen siedelten lokal und später stießen sogar die Hunnen bis Süddeutschland vor. Außerdem ist es bis heute unsicher, ob diese Flöten wirklich für ästhetische Zwecke als Musikinstrumente eingesetzt wurden, oder ob sie nicht eher zum Beispiel Jägern als Signalwerkzeuge dienten. Sicherlich unterschied sich das emotionale Leben der steinzeitlichen Menschen nicht grundsätzlich von unseren Empfindungen. Vermutlich hatten die Menschen damals ähnliche Freuden, Sorgen und Leiden. Die Lebensbedingungen waren hart und die durchschnittliche Lebenserwartung betrug nur 25 Jahre. Die Würmeiszeit bedingte eine dem heutigen Klima in Grönland vergleichbare durchschnittliche Jahrestemperatur, die Vegetation in der Randlage der aus den Alpen vordringenden Gletscher bestand überwiegend aus Tundra mit einzelnen Birken, allerdings war ausreichend Nahrung durch die reichen Wildbestände vorhanden. Man kann sich daher gut vorstellen, dass die steinzeitlichen Menschen abends am Feuer saßen und ausdrucksvolle Melodien spielten, um so das Wohlbefinden und den Gruppenzusammenhalt zu fördern. Für eine musikalische Funktion der Flöten spricht auch der Umstand, dass die Herstellung insbesondere der Elfenbeinflöten technisch sehr aufwändig war und erhebliche Expertise erforderte. Die Mammutrohlinge wurden vorsichtig ausgehöhlt und die beiden Halbrohre mussten dann genau aufeinander angepasst und mit Birkenpech dicht verklebt werden.<sup>5</sup> Für eine reine Signalflöte hätten die Steinzeitmenschen sicher geringeren Aufwand betrieben.

Wahrscheinlich gab es bereits vor der Periode der jungsteinzeitlichen Funde musikalische Aktivitäten, aber hier sind keine sicheren Zeugnisse überliefert. Denkbar ist, dass die Instrumente aus weniger haltbarem Material, z.B. aus Schilf und Holz gefertigt wurden, möglich ist aber auch, dass gemeinsamer Gesang, rhythmisches Klatschen und Trommeln auf Holzgegenständen dominierten. Es

<sup>4</sup> Conard, N.J., Malina, M., Münzel, S.C. (2009) *New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany*. Nature 460, 737–740.

<sup>5</sup> Münzel S.C. & Conard N. (2009) *Flötenklang aus fernen Zeiten. Die frühesten Musikinstrumente*. In: Eiszeit. Kunst und Kultur. Begleitband zur großen Landesausstellung (Hrsg. Archäologisches Landesmuseum Baden Württemberg.) Seite 317–321.



bleibt eine offene Frage, warum musikalischen Aktivitäten in der Evolution von Homo sapiens entstanden sind. Die Herstellung der Instrumente und das Einüben der Melodien waren arbeitsintensiv und damit teuer. Wertvolle Zeit, die auch zum Jagen oder Sammeln hätte genutzt werden können wurde hier trotz des ständigen Kampfes um das Überleben investiert.

Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus ist die Frage nach dem Ursprung der Musik schwierig zu beantworten. Es existieren zu wenig gesicherte Quellen über die musikalischen Aktivitäten in prähistorischen Zeiten. Musik versteinert nicht. Wir besitzen mit den Flötenfunden nur spärliche Dokumente und es gibt bemerkenswert wenig Darstellungen von Musikern in Höhlenmalereien. Dennoch gibt es Gründe anzunehmen, dass die Musik als Universalie alte evolutionäre Wurzeln hat. Dies müsste allerdings dann wieder mit einem Selektionsvorteil, einem adaptiven Wert für das Leben der Menschen einhergehen.

Im Folgenden wollen wir ausführen, welche Gründe dafür sprechen, dass Musik einen Selektionsvorteil und adaptiven Wert für die Menschen der Urzeit hatte. Wir wollen dann die Gegenposition darlegen, nämlich dass Musik dem Käsekuchen vergleichbar sei: angenehm und schmackhaft, aber unnütz. Dann wollen wir die Frage behandeln, ob Musik ähnlich wie die Kontrolle des Feuers eine relativ späte Erfindung des Menschen sein könnte. Eine Kurzübersicht über die Ergebnisse unserer Gänsehautexperimente beim Musikhören soll dann auf alte biologische Wurzeln der Musik verweisen, die wir schließlich in einem Modell zur Entstehung der Musik integrieren wollen.

### **Ist Musik eine evolutionäre Anpassung?**

Aus Platzgründen wollen wir hier nur verkürzt die Diskussion über einen potentiellen adaptiven Wert der Musik wiedergeben. Für den aktuellen Stand der Diskussion sei auf den Sonderband der Zeitschrift „Musicae Scientiae“ 2009/2010 mit dem Titel „Music and Evolution“ verwiesen. Zusammenfassend gehen die „Adaptionisten“ davon aus, dass unsere Fähigkeit, Musik zu machen und zu genießen das Resultat einer natürlichen Selektion ist, die in der Evolution des Menschen einen Beitrag zum „Überleben des Stärkeren“ leistete. Parallel mit dem Verhalten wurden auch die körperlichen Voraussetzungen des Musizierens entwickelt. Dazu gehören spezialisierte Hirnregionen, in denen Musik bevorzugt verarbeitet wird, zum Beispiel im Bereich der oberen rechten Schläfenwindung. Der prominenteste Vertreter dieser Position war Charles Darwin. In seinem 1875 in deutscher Sprache erschienenen Buch „*Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl*“ schreibt er Folgendes zum Ursprung der Musik:

*Die Musik erweckt verschiedene Gemüthserregungen in uns, regt aber nicht die schrecklicheren Gemüthsstimmungen des Entsetzens, der Furcht, Wuth u.s.w.*

*an. Sie erweckt die sanfteren Gefühle der Zärtlichkeit und Liebe, welche leicht in Ergebung übergehen. In den chinesischen Annalen wird gesagt: »Musik hat die Kraft, den Himmel auf die Erde herabsteigen zu machen« Sie regt gleichfalls in uns das Gefühl des Triumphes und das ruhmvolle Erglühen für den Krieg an. Diese kraftvollen und gemischten Gefühle können wohl dem Gefühle der Erhabenheit Entstehung geben. Wir können, wie Dr. Seemann bemerkt, eine größere Intensität des Gefühls in einem einzigen musikalischen Tone concentrieren als in seitenlangen Schriften. Ungefähr von denselben Gemütsbewegungen werden höchst wahrscheinlich auch die Vögel ergriffen, wenn das Männchen im Wetteifer mit seinen Nebenbuhlern die ganze Fülle seines Gesanges ertönen lässt, um das Weibchen zu gewinnen. Die Liebe ist noch jetzt am häufigsten Gegenstand unserer Lieder...So ist es wahrscheinlich, dass die Vorfahren des Menschen, männlichen und weiblichen Geschlechts, bevor sie sich ihre Liebe in artikulierter Sprache zu erklären vermochten, einander mit Hilfe musikalischer Töne und Rhythmen zu gewinnen bemüht waren.<sup>6</sup>*

Er argumentierte weiter, dass die Musik auch ein Vorläufer unserer Sprache sei. Dieser Gedanke wurde vor wenigen Jahren in dem „Musilanguage“ Modell von Steven Brown<sup>7</sup> ausgearbeitet. Die Idee, dass musikalisch-emotionsbeladene Ausrufe auch Vorläufer der Sprache sein könnten ist allerdings nicht neu und findet sich bereits bei Johann Gottfried Herder.<sup>8</sup> Die von Darwin angesprochene Rolle von Musik bei der Werbung um Sexualpartner kann auch mit der Demonstration verborgener Qualitäten in Zusammenhang gebracht werden. Man kann sich gut vorstellen, dass das Singen eines jungen Mannes nicht nur ästhetischen Zwecken dient, sondern auch Auskunft über seine Gesundheit geben kann. Denn ein kräftiger Sänger leidet höchst wahrscheinlich nicht unter einer floriden Lungentuberkulose, eine Information, die immerhin bis zu Beginn des letzten Jahrhunderts für eine potentielle Eheschließung von großer Bedeutung war. Die starke emotionale Wirkung, die von kräftigen Männerstimmen ausgeht, – man denke an das berühmt-berüchtigte „hohe C“ der Tenöre – könnte also mit einer derartigen Demonstration von Fitness in Zusammenhang gebracht werden. Aber es sind nicht nur die verborgenen Qualitäten des Musikanten, sondern auch direkte akustische Merkmale von Musik, die bestimmte Wirkun-

<sup>6</sup> Darwin C.R (1875). *Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl*. Übersetzt von J.V. Carus. Dritte Auflage. Stuttgart: Schweizerbart. Band 2. 315–317 Nachdruck: Fourier Verlag, Wiesbaden 1986.

<sup>7</sup> Brown, S. (2000). *The 'musiclanguage' model of music evolution*. In *The origins of music* (eds N.L. Wallin, B. Merker & S. Brown), pp. 271–300. Cambridge, MA: MIT Press.

<sup>8</sup> Herder, J.G. (1772) *Über den Ursprung der Sprache*. Christian Friedrich Voss, Berlin. Eine wichtige klassische Übersicht zur Diskussion über den Ursprung der Musik ist die Monographie „Die Anfänge der Musik“ von Carl Stumpf, Leipzig, Verlag Ambrosius Barth 1911.

gen entfalten. So wissen wir heute, dass ausdrucksvolles Musizieren zur Ausschüttung von Endorphinen führen kann, wodurch Glücksgefühle ausgelöst werden, die beim gemeinschaftlichen Hören der Intensivierung einer Bindung dienen können.<sup>9</sup>

Auf der Gruppenebene kommt Musik eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit der Herstellung sozialer Kohärenz zu. So wird der Tanz zum Beispiel in zahlreichen Gesellschaften bei religiösen Festen und gesellschaftlichen Riten eingesetzt. Tanz scheint über eine verstärkte Oxytocin-Ausschüttung der Hypophyse eine stabilere Gedächtnisbildung zu bewirken.<sup>10</sup> Damit wird die Erinnerung an ein spezifisches Gruppenerlebnis gefördert. In ähnlicher Weise wird Musik als Markersignal von Gruppenidentität bei zahlreichen anderen Gelegenheiten eingesetzt. Man denke nur an Nationalhymnen, Fußballgesänge und an die Identität stiftende Wirkung, die bestimmte Lieder von ethnischen Minderheiten in einem Staatswesen haben. Ein eindrucksvoller Hinweis auf die Wertschätzung, die Musik als Mittel zur Organisation sozialer Gruppen genießt, ist der Einsatz von Musik beim Militär. Möglicherweise ist hier der vorrangige Zweck des Musizierens die Verhaltenssynchronisation. Dies kann auch beim Einsatz von Musik in der Arbeitsorganisation, etwa als „Spinnerlied“, „Dreschegefang“ etc. angenommen werden. Wie McNeill<sup>11</sup> in seiner kulturgeschichtlichen Untersuchung über die sozialen und evolutionären Funktionen der Bewegungssynchronisation aufzeigt, haben gemeinsam und synchron ausgeführte rhythmische Bewegungen wie sie z.B. beim Tanzen eingesetzt werden hauptsächlich eine gruppenbindende Funktion. Auch hier kann leicht der evolutionär adaptive Wert erkannt werden: Erst durch die soziale Organisationsform der Gruppe konnte sich die Spezies *homo sapiens* gegenüber Tierspezies sowohl bei der Jagd als auch beim Schutz der Gruppenmitglieder durchsetzen. Diese Fähigkeit zur sozialen Organisation wäre evolutionär mindestens genauso bedeutsam wie der Werkzeuggebrauch und Musik hätte aus dieser Sicht eine zentrale Bedeutung. (Für weitere Ausführungen zu diesem Thema sei auf den Artikel von Kopiez<sup>12</sup> verwiesen). Naturgemäß sind derartige Funktionen von Musik heute mit der Differenzierung und Individualisierung von Arbeitsvor-

<sup>9</sup> Panksepp, J. & Bernatzky, G. (2002). *Emotional sounds and the brain: The neuro-affective foundations of musical appreciation*. Behavioural Processes 60, 133–155.

<sup>10</sup> Huron, D. (2006). *Sweet anticipation: music and the psychology of expectation*. Cambridge, Massachusetts: A Bradford Book.

<sup>11</sup> McNeill, W.H. (1995). *Keeping together in time. Dance and drill in human history*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

<sup>12</sup> Kopiez, Reinhard (2005): *Musikalischer Rhythmus und seine wahrnehmungspsychologischen Grundlagen*. In: Christa Brüstle, Nadia Ghattas, Clemens Risi und Sabine Schouten (Hrsg.). *Rhythmus im Prozess*. transcript Verlag, Bielefeld, Seite 127–148.

gängen in den Hintergrund gedrängt worden. Bereits bei Kindern scheint gemeinsames Musizieren die soziale Kohärenz, Kooperativität und Hilfsbereitschaft zu fördern.<sup>13</sup>

Neben sexueller Selektion und Gruppenzusammenhalt wird als dritte wichtige evolutionäre Anpassung die frühe Eltern-Kind Interaktion mit Wiegenliedern und rhythmisch-gestischer Interaktion angeführt. Diese Form der emotionalen Kommunikation hat drei Hauptfunktionen: die Bindung zwischen Elternteil (meist der Mutter) und Kind wird gestärkt, der Spracherwerb wird unterstützt und der Erregungszustand des Kindes kann gesteuert werden. Weltweit werden Wiegenlieder bei überaktiven Kindern beruhigend, bei zu passiven Kindern aber aktivierend gestaltet.<sup>14</sup> Alle drei Funktionen verbessern die kindlichen Überlebenschancen und wirken daher auch auf die natürliche Selektion.

Als weitere Eigenschaft sozialer „Wirkung“ von Musik kann schließlich ihr Einsatz als Heilmittel angesehen werden. Musizieren kann zu einer verbesserten Körperabwehr führen und Angst lösend wirken. In vielen Kulturen wird Musik als begleitende Therapie bei medizinischen Eingriffen durchaus sinnvoll eingesetzt.<sup>15</sup>

Die Bedeutung von Musik als potenzielle evolutionäre Anpassung wird durch neurobiologische Erkenntnisse unterstrichen. Wir besitzen spezifische Hirnregionen und neuronale Netzwerke für die Wahrnehmung von Melodien und Tönen. Dies wird eindrucksvoll durch den selektiven Verlust dieser Wahrnehmungsleistung bei angeborenen und erworbenen Amusien verdeutlicht. Erstere ist durch ein genetisch bedingtes Defizit der Tonhöhenwahrnehmung aufgrund eingeschränkter Funktion neuronaler Netzwerke im rechten vorderen Schläfenlappen bedingt.<sup>16</sup> Ferner besitzt der Mensch spezifische neuronale sensomotorische Netzwerke, die es ermöglichen, zu wechselnden Tempi zu synchronisieren und sich im Tempo einer rhythmischen Stimulation anzupassen.

Zu den neurobiologischen Auswirkungen der Musik mit evolutionär adaptivem Wert gehören auch die starken Emotionen, die gelegentlich beim Musizieren und Musik Hören entstehen. Verschiedene Neurotransmitter, insbesondere Dopamin und Endorphin spielen hier eine wichtige Rolle. In einer kürzlich

<sup>13</sup> Kirschner, S. & Tomasello, M. (2010): *Joint music making promotes prosocial behavior in 4-year-old children*. *Evolution and Human Behavior*, Volume 31, Seiten 354–364.

<sup>14</sup> Shenfield, T., Trehub, S., Nakata, T. *Maternal singing modulates infant arousal*. *Psychology of Music* 31: Seiten 365–375

<sup>15</sup> Panksepp, J. & Bernatzky, G. (2002). *Emotional sounds and the brain: The neuro-affective foundations of musical appreciation*. *Behavioural Processes* 60, 133–155.

<sup>16</sup> Ayotte, J., Peretz, I., Hyde, K. *Congenital amusia: A group study of adults afflicted with a music-specific disorder*. *Brain* (2002) 125(2): 238–251.

erschienenen Arbeit aus der Gruppe von Robert Zatorre wurde die Ausschüttung von Dopamin bei intensiven Gänsehauterlebnissen durch Musik beschrieben. Dabei wurden die Hirnregionen aktiviert, die im Mittelhirn, im Accumbens-Kern, im Striatum sowie im unteren vorderen Stirnhirn für die Vermittlung von Belohnungs- und Glücksgefühlen zuständig sind. Interessanterweise war die Ausschüttung des Motivations- und Belohnungshormones Dopamin im Striatum einige Sekunden vor dem eigentlich Glücksgefühl in der Phase der Erwartung der „Gänsehaut“ nachweisbar, während die Glückserfahrung selbst zur Dopamin-ausschüttung im Accumbens-Kern führte.<sup>17</sup> Einen ähnlichen Verlauf der neurohormonalen Ausschüttung findet man auch bei anderen stark lustbetonten Aktivitäten, etwas beim Essen nach längerer Hungerperiode oder bei sexueller Aktivität. Solche Ergebnisse können auch erklären, warum Musik in allen menschlichen Gesellschaften ein so hoher Wert beigemessen wird. Die oben beschriebene dopaminerge Aktivierung reguliert und erhöht die Aufmerksamkeit, unterstützt Motivation und Gedächtnisbildung im episodischen und prozeduralen Gedächtnis. Damit wird das Erinnern musikalischer Ereignisse, die stark emotional bewertet werden massiv unterstützt.

### **Ist Musik eine menschliche Erfindung?**

Die Gegenposition zu den Adaptionisten geht davon aus, dass Musik eine menschliche Erfindung ohne direkte adaptive biologische Funktion sei. Dennoch wird nicht abgestritten, dass einige der Merkmale von Musik durchaus biologisch nützliche Nebeneffekte haben können und das Wohlbefinden befördern. Eine Analogie dazu wäre die Erfindung der Kontrolle des Feuers, die vermutlich vor 150.000 Jahren stattfand<sup>18</sup>. Natürlich gibt es kein „Feuer“-Gen und keine neurologischen Syndrome die durch die Unfähigkeit Feuer zu machen und zu kontrollieren charakterisiert werden können. Aber niemand wird bestreiten, dass die Kontrolle des Feuers nicht nur einen enormen Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden und die Ernährung hatte, sondern auch auf physiologische Parameter. Durch die Möglichkeit, leichter verdauliche und leicht zu kauende Nahrung herzustellen verkürzte sich der Darm und bildeten sich die großen Kiefer mit den Eck- und Mahlzähnen zurück. Warum sollte nicht auch die Musik eine derartig geniale Erfindung des Menschen sein?

<sup>17</sup> Salimpoor, V.N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., Zatorre, R.J. (2011). *Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music*. Nature Neuroscience 14, 257–262.

<sup>18</sup> Brown, K.S., Marean, C.W., Herries A.I.R., Jacobs, Z., Tribolo C., Braun, D., Roberts, D.L., Meyer, M.C., Bernatchez, J. (2009). *Fire as an engineering tool of early modern humans*. Science 325, 859–862.

Historisch gesehen geht diese Sichtweise auf Herbert Spencer und seinen 1857 erschienenen Essay „Über den Ursprung und die Funktion der Musik“ zurück.<sup>19</sup> Spencer argumentierte, dass die Musik sich aus den Rhythmen und der ausdrucksstarken Sprachmelodie der leidenschaftlichen Rede entwickelt habe. Der prominenteste moderne Protagonist dieser nicht-adaptionistischen Position ist Steven Pinker, der in seinem Buch „How the Mind Works“ feststellt: *Was Ursache und Wirkung im biologischen Sinne angeht, ist Musik nutzlos. Sie ist von ihrer Anlage her nicht auf das Erreichen eines Ziels ausgerichtet, wie ein langes Leben, Enkel oder die Fähigkeit, die Welt genau wahrnehmen und Voraussagen über ihr Verhalten machen zu können. Im Gegensatz zu Sprache, Sehfähigkeit, sozialen Schlußfolgerungen und physikalischen Kenntnissen könnte unserer Spezies die Musik genommen werden, ohne daß sich das Leben in den übrigen Bereichen grundlegend veränderte. ... Ich vermute, daß Musik akustischer Käsekuchen ist.*<sup>20</sup>

Eine elegantes Konzept, Musik als menschliche Erfindung zu konzipieren und dennoch die oben genannten neurobiologischen Spezialfunktionen zu berücksichtigen ist die von Aniruddh Patel vorgeschlagene Theorie der Musik als „Transformative Technology of the Mind“, als „umgewandelte Technologie des Geistes“ oder kurz als „TTM“. <sup>21</sup> Patel entwickelt diese Theorie aus einem vergleichenden Ansatz: zahlreiche Aspekte der Wahrnehmung und Produktion von Musik seien in anderen, nicht Musik bezogenen Hirnfunktionen verwurzelt, die wir mit Tieren gemeinsam haben. Die dahinter stehende Logik ist folgende: wenn unsere musikalischen Fähigkeiten sich auf andere Hirnfunktionen stützen, dann ist es nicht Musik, die unser genetisches Material durch natürliche Selektion geformt hat. Wie bei der Erfindung des Feuers, deren Voraussetzung der aufrechte Gang und die damit entstandene Kontrolle der Handmotorik war, stützen sich unsere musikalischen Fertigkeiten auf die Umwandlung zuvor erworbener Fähigkeiten, z.B. Tonhöhenunterscheidungsvermögen, oder Synchronisation von Bewegungen zu wechselnden Tempi. Ist Musik einmal in der Lebenswelt etabliert und erprobt, bleiben (wie in der Feuer-Analogie) Auswirkungen auf biologische Merkmale nicht aus. Hier wären etwa die Entwicklung des rechten vorderen Schläfenlappens für ein leistungsfähiges auditives Arbeitsgedächtnis oder die Verfeinerung der sensomotorischen Handregionen zur Kontrolle der virtuellen Fingerfertigkeiten zu nennen.

Zusammenfassend existieren durchaus gültige Argumente, Musik als eine menschliche Erfindung anzusehen, die sich aus bereits bestehenden kognitiven

<sup>19</sup> Spencer, H. *On the origin and function of music*. Fraser's Magazine, Oct. 1857.

<sup>20</sup> Pinker, S. (1998). *Wie das Denken im Kopf entsteht*. Kindler Verlag, München. 655–656, 663.

<sup>21</sup> Patel, A. (2010). *Music, biological evolution, and the brain*. In: M. Bailar (ed.) *Emerging Disciplines*. Huston University Press, pp 91–144.

und motorischen Fähigkeiten entwickelt hat. Allerdings vernachlässigt die TTM-Theorie die starke Wirkung von Musik auf Emotionen! Es ist interessant, dass der emotionale Aspekt der Musik seit jeher im Mittelpunkt der adaptionsistischen Position, beginnend mit Darwin und Herder, stand.

Im Folgenden werden wir zeigen, dass Musik verschiedene Arten von Emotionen auslösen kann, nämlich 1.) die *ästhetischen Emotionen, die keine unmittelbare vitale Bedeutung für den Organismus* haben und 2.) die oben genannten *starken Emotionen, die durch Begleitreaktionen des autonomen Nervensystems und durch Ausschüttung von Neurohormonen* gekennzeichnet sind. Zu diesen starken Emotionen gehört unter anderem die oben genannte Chill- oder Gänsehautreaktion. Wir werden argumentieren, dass Erstere vermutlich auf eine Erfindung des Menschen zurückgehen, während Letztere evolutionär alt sind und auf einem akustischen Kommunikationssystem von Affekten beruht, das auch schon bei anderen Säugetieren angelegt ist.

### Ästhetische Emotionen beim Musikhören

Die meisten Menschen stimmen überein, dass Musik fröhlich oder traurig klingen kann. Allerdings besteht weniger Konsens, ob Musik wirklich beim Hörer Emotionen auslöst. Eine detaillierte Wiedergabe dieser Diskussion würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Wir verweisen hier auf die kürzlich erschienene Übersichtsarbeit von Hunter und Schellenberg.<sup>22</sup>

Grundsätzlich wird die „kognitivistische“ und die „emotivistische“ Position unterschieden. Kognitivisten argumentieren, dass fröhliche oder traurige Musik diese Emotionen nicht im Hörer erweckt, sondern nur in dieser Weise vom Hörer klassifiziert und bewertet wird.<sup>23</sup> Allerdings kann eine solche Bewertung der Musik Emotionen induzieren.<sup>24</sup> Zum Beispiel könnte die langweilige und ungenaue Wiedergabe eines sonst als „fröhlich“ klassifizierten musikalischen Meisterwerks, z.B. der Badinerie aus der h-moll-Suite von Johann Sebastian Bach bei einem Musikliebhaber Gefühle von Ärger, Frustration und Trauer auslösen, die natürlich auf seinen Kenntnissen anderer, angemessenerer Interpretationen beruhen.

<sup>22</sup> Hunter P., Schellenberg G. *Music and Emotion*. In M.R. Jones (Editor) *Music Perception. Handbook of Auditory Research* 36, S. 129–164.

<sup>23</sup> Kivy, P. (1990). *Music alone: Philosophical reflections on the purely musical experience*. Ithaca: Cornell University Press.

<sup>24</sup> Scherer, K.R. (2004). *Which emotions can be induced by music? What are the underlying mechanisms? And how can we measure them?* *Journal of New Music Research* 33(3), 239–251.

Im Gegensatz dazu postulieren die Emotivisten, dass Musik direkt Emotionen induziert. Mehrere Mechanismen werden für derartige Wirkungen von Musik diskutiert. Einer davon ist die oben genannte kognitive Bewertung. Juslin und Västfjäll<sup>25</sup> haben sechs weitere Wirkmechanismen, vorgeschlagen, nämlich 1.) Hirnstamm-Reflexe, 2.) Konditionierung, 3.) Verankerung im episodischen Gedächtnis, 4.) emotionale Ansteckung, 5.) Imaginationen und 6.) auditive (z.B. harmonische) Erwartungen, die erfüllt oder getäuscht werden.

Zu den Hirnstammreflexen rechnen Juslin und Västfjäll automatische Reaktionen auf sehr dissonante und laute Klänge, die über ein fest verdrahtetes neuronales Netzwerk des Hirnstamms vermittelt werden. Obwohl dieses Phänomen eindeutig existiert, halten wir die Bezeichnung für unglücklich, da in der Neurologie Hirnstammreflexe, – zum Beispiel die Verengung der Pupille bei Lichteinfall –, hochgradig reflexhaft sind und im Gegensatz zur Reaktion auf Musik weniger individuell durch Lernvorgänge moduliert werden können. Passender wäre hier der Begriff „Hirnstammreaktionen“.

Die emotionale Kraft der Konditionierung von Musik und des episodischen Gedächtnisses wurde meisterhaft in dem Kapitel „Eine Liebe von Swann“, aus dem Roman „Auf der Suche nach der verlorenen Zeit“ von Marcel Proust porträtiert<sup>26</sup>: Der Held Swann verliebt sich in eine Frau, während eine Melodie des Komponisten Vinteuil gespielt wird. Anschließend wird das Stück als „Nationalhymne ihrer Liebe“, mit stark positiven Emotionen der Zärtlichkeit und Sehnsucht verbunden. Nach dem Auseinanderbrechen der Liaison erzeugt das Hören des Stückes intensive negative Emotionen wie Gefühle der Angst, der Melancholie und des Hasses bei Swann. Hier bewirken die Assoziationen von Musik mit wichtigen, nicht musikalischen Lebensereignissen gegenteilige Emotionen, obwohl der „Stimulus“ gleich bleibt.

Emotionale Ansteckung von Musik beruht auf der Idee der „sympathischen“ Reaktion. Danach löst traurige Musik traurige Gefühle aus.<sup>27</sup> Die Induktion von Emotionen durch Bilder beim Hören von Musik lässt sich am besten in Oper und Film-Musik belegen. Oft werden bestimmte Motive, Klangfarben, oder Instrumente mit emotional aufgeladenen Szenen oder Persönlichkeiten verbunden. Ein gutes Beispiel ist die Mundharmonika-Melodie in dem Film „Spiel mir das Lied vom Tod“ von Sergio Leone. Hier verkörpert das Sekundmotiv die

<sup>25</sup> Juslin, P.N. & Västfjäll, D. (2008). *Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms*. Behavioural and Brain Sciences 31, 559–621.

<sup>26</sup> Proust, M. (2004). *Auf der Suche nach der verlorenen Zeit*. Band 1. Übersetzung von Eva-Rechel-Mertens. Suhrkamp Taschenbuch, Frankfurt. Seite 499 folgende.

<sup>27</sup> Levinson, J. (1996) *The pleasures of aesthetics: Philosophical essays*. Ithaka NY: Cornell University Press.



düsteren Emotionen und Erinnerungen, die den Rachefeldzug der Figur „Mundharmonika“, dargestellt von Charles Bronson begleiten.

Aufbau, Erfüllung und Täuschung musikalischer Erwartungen wird bereits seit Leonard Meyer<sup>28</sup> als wesentlicher Auslöser von Emotionen beim Hören von Musik diskutiert. Vor kurzem hat David Huron diese Idee in seinem Buch „Sweet Anticipation“<sup>29</sup> ausgearbeitet. Danach entsteht eine gewisse emotionale Befriedigung, wenn Erwartungen erfüllt werden. Bleiben die musikalischen Erwartungen unerfüllt, führt dies nicht zwangsläufig zu negativen Gefühlen, sondern das Ergebnis kann Lachen, Staunen oder sogar eine starke Reaktion in Form einer „Gänsehaut“ sein.

Kommen wir zurück zu der Frage nach dem evolutionären Anpassungswert der durch Musik induzierten Emotionen. Hier ist es unseres Erachtens sinnvoll, zwischen starken Emotionen, die zu den oben genannten physiologischen Reaktionen führen und ästhetischen Emotionen zu unterscheiden. Auch Scherer unterscheidet zwei Klassen von Emotionen, nämlich die utilitaristischen Emotionen, zum Beispiel Wut, Ekel, Angst, Freude, Trauer, Überraschung, und ästhetische Empfindungen.<sup>30</sup> Während erstere objektiv durch psychophysiologische Messungen erfasst werden können und in Bezug auf das Überleben relevant sind, sei es in Hinsicht auf Partnerwahl, auf Gruppenkohäsion oder auf Vermeidungsverhalten, sind letztere durch stark subjektive Gefühle gekennzeichnet. Die physiologischen Komponenten ästhetischer Emotionen sind häufig sehr subtil und die emotionalen Reaktionen bleiben sehr individuell. Zentner und Kollegen<sup>31</sup> haben das Vokabular von Beschreibungen der durch Musik ausgelösten Emotionen analysiert. Dabei konnten sie die verbalen Äußerungen in neun Kategorien einteilen: Erstaunen, Transzendenz, Zärtlichkeit, Nostalgie, Friedfertigkeit, freudvolle Aktivierung, Spannung und Traurigkeit. Es ist sicher schwierig, diesen Kategorien einen evolutionär adaptiven Wert zuzuschreiben, obwohl sie unbestritten das menschliche Wohlbefinden steigern und Sinn, Trost und Sicherheit vermitteln können. Derartige ästhetische Emotionen sind also gute Kandidaten, um als menschliche Erfindung und Bestandteil einer TTM zu gelten.

<sup>28</sup> Meyer, L.B. (1956). *Emotions and meaning in music* (Paperback edition 1961 ed.). Chicago, London: The University of Chicago Press.

<sup>29</sup> Huron, D. (2006). *Sweet anticipation: music and the psychology of expectation*. Cambridge, Massachusetts: A Bradford Book.

<sup>30</sup> Scherer, K.R. (2005). *What are emotions? And how can they be measured?* Social Science Information, 44(4), 695–729.

<sup>31</sup> Zentner, M., Grandjean, D., Scherer, K.R. (2008). *Emotions evoked by the sound of music: characterization, classification and measurement*. Emotion 8, 494–521.

### **Die Chill-Reaktion als Beispiel für starke Emotionen beim Musikhören: Phänomenologie und auslösende Parameter**

Auf der Suche nach einem objektiven Maß für starke Emotionen haben wir uns in den letzten Jahren mit der Chill-Reaktion beim Musikhören befasst. Derartige „Chills“, „Thrills“, oder „Gänsehauterlebnisse“ sind mit dem Gefühl eines Fröstelns und mit Schauern, die den Rücken hinunterlaufen, verbunden. Die Chill-Reaktion tritt in vielen Zusammenhängen auf und kann durch ganz unterschiedliche Sinnesreize ausgelöst werden. Physiologisch geht die Chill-Reaktion mit einer Aktivierung des sympathischen autonomen Nervensystems einher. Dadurch entsteht eine Kontraktion der winzigen Haaraufsteller-Muskeln (*Musculi arrectores pilorum*) in der behaarten Haut. Darüber hinaus werden Chills von anderen Reaktionen des sympathischen Nervensystems begleitet. So erhöhen sich häufig die Herzfrequenz, Blutdruck, Atemfrequenz und Schweißproduktion. Wie bereits oben erwähnt, gehen Chills mit einer dopaminergen Aktivierung im Bereich der Belohnungszentren des Striatums und des Accumbenskerns einher. Die dadurch verursachte Steigerung der Erregung und der Motivation unterstützt damit die Gedächtnisbildung. Auf diese Weise werden Ereignisse, die zu Chill-Reaktionen führen, verstärkt in das Langzeitgedächtnis überführt. Diese Tatsache ist wichtig, wenn wir später den evolutionär adaptiven Wert der Chill-Reaktion beim Hören von Musik diskutieren.

Die Chill-Reaktion tritt auch bei anderen behaarten Säugetieren bei Kälte, Wut und Angst auf. Bei Kälte wird durch die aufgestellten Haare der Wärmeabtransport von der Haut vermindert, bei Wut und Angst erscheint das Tier größer und erschreckt so die Feinde. Dies kann gut bei Schimpansen, aber auch bei Mäusen, Ratten und verängstigten Katzen beobachtet werden. Ein Sonderfall der akustisch ausgelösten Chill-Reaktion scheint bei mütterlichen Trennungsrufen einiger Affenarten aufzutreten. Diese Rufe führen bei den abgelegten Affenbabys zum Aufstellen der Haare. Jaak Panksepp<sup>32</sup> argumentiert, dass Gefühle des Verlustes und der sozialen Kälte so durch die mütterlichen Laute gelindert werden können. Seiner Meinung nach könnte dies erklären, warum beim Menschen häufig Chill-Reaktionen bei trauriger oder sehnsuchtsvoller Musik auftreten. Kritisch anzumerken ist, dass bislang keine systematische Untersuchung dieser Chill-Reaktion bei Primaten durchgeführt wurde. Auch wenn sie häufig zitiert wird, haftet ihr somit etwas Anekdotisches an.

Beim Menschen können Chills durch auditive, visuelle, taktile, somatosensorische, gustatorische und enterozeptive (z.B. Druck auf die Blasenwand) Reize

---

<sup>32</sup> Panksepp, J. (1995). *The emotional sources of „chills“ induced by music*. *Music Perception* 13(2), 171–207.

induziert werden. Obwohl die meisten Untersuchungen zu dem Phänomen die Chill-Reaktion bei angenehmer, traurig-nostalgischer Musik betreffen<sup>33</sup>, darf nicht vergessen werden, dass unangenehme akustische Reize, wie das kratzende Geräusch von Kreide auf einer Tafel oder des Bohrers beim Zahnarzt eine solche Chill-Reaktion noch zuverlässiger auslösen.<sup>34</sup> Diese aversiven Reize zeichnen sich psychoakustisch durch große Lautstärke, hohes Frequenzspektrum und häufig durch ein hohes Maß an Rauheit („Kratzigkeit“) aus.

Im Folgenden werden wir uns nur auf die mit angenehmen Gefühlen verbundenen positiven Chill-Reaktionen beim Hören von Musik konzentrieren. Wir werden kurz unsere Ergebnisse zu den musikalischen Parametern, die eine Chill-Reaktion begünstigen, referieren. Dann werden wir Hörereigenschaften beleuchten und die Merkmale der „Chill-Persönlichkeit“ darstellen.

Vorab ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass Chill-Reaktionen beim Hören von Musik selten sind. Nach Goldstein<sup>35</sup> erleben überhaupt nur etwa 70% der Bevölkerung gelegentlich diese Reaktionen. Interessanterweise gibt es Unterschiede zwischen den Berufsgruppen. Musikstudenten sind mit bis zu 90% anfälliger für Chills als Medizinstudenten (80%), und Verwaltungsmitarbeiter einer Forschungseinrichtung (53%). Selbst in einer ausgewählten Gruppe von Amateur-Chorsängern erlebten nur 72% eine Chill-Reaktion wenn sie unter Laborbedingungen 30 Minuten sehr emotionale Chor-Musik anhörten<sup>36</sup>. Grundsätzlich ist anzumerken, dass Chill-Reaktionen flüchtig und nicht einfach reproduzierbar sind. So zeigte sich in einem Experiment dass selbst typische individuelle „Chill-Stellen“ an sieben aufeinander folgenden Tagen nicht regelmäßig Reaktionen auslösten und insgesamt die Chills immer seltener wurden, also habituierten.

Darüber hinaus sind Chill-Reaktionen stark vom Kontext abhängig. In einer Untersuchung konnten wir nachweisen, dass das Hören emotional stark wirksamer Musik in einer Gruppe von Freunden zu weniger Chill-Reaktionen führt, als wenn diese Musik von den Teilnehmern allein gehört wurde. Dies weist auf

---

<sup>33</sup> Guhn, M., Hamm, A. & Zentner, M.R. (2007). *Physiological and musico-acoustic correlates of the chill response*. Music Perception 24(5), 473–483, aber auch Grewe, O., Kopiez, R., Altenmüller, E. (2009). *The chill parameter: Goose bumps and shivers as promising measures in emotion research*. Music Perception 27(1), 61–74.

<sup>34</sup> Grewe, O., Katur, B., Kopiez, R., Altenmüller, E. (2010). *Chills in different sensory domains – Frisson elicited by acoustical, visual, tactile and gustatory stimuli*. Psychology of Music 39: 220–239.

<sup>35</sup> Goldstein, A. (1980). *Thrills in response to music and other stimuli*. Physiological Psychology 8(1), 126–129.

<sup>36</sup> Grewe, O., Kopiez, R., Altenmüller, E. (2009). *The chill parameter: Goose bumps and shivers as promising measures in emotion research*. Music Perception 27(1), 61–74.

eine weitere interessante Facette des Phänomens hin: zumindest in unserer Kultur werden Chill-Reaktionen als sehr intim empfunden und sind möglicherweise auch mit Scham-Gefühlen verbunden<sup>37</sup>.

In einer Reihe von weiteren Studien haben wir versucht, musikalische Faktoren zu bestimmen, die die Wahrscheinlichkeit für Chill-Reaktionen erhöhen. Die Hypothese war, dass bestimmte harmonische Progressionen, Klangfarben, Stimmen, oder Lautstärkeverläufe zu diesem Phänomen beitragen. Die Ergebnisse waren sehr ernüchternd. Erstens fanden wir keine einfache Reiz-Reaktions-Beziehung, d.h. auch bei emotional sehr anregender Musik sind Chill-Reaktionen eher selten und nicht einfach reproduzierbar. Zweitens gab es keine Kombination von musikalischen Faktoren, die bei unterschiedlichen Hörern zuverlässig Chill-Reaktionen erzeugten. Das einzige Merkmal, das in unseren Experimenten als eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für die Entstehung einer Chill-Reaktion gefunden wurde, war ein *unerwarteter Bruch in der musikalischen Struktur*, oder, in der Terminologie von David Huron, eine Nicht-Erfüllung von Erwartungen.<sup>38</sup>

Bei 38, hinsichtlich Alter, musikalischer Vorbildung und Geschlecht heterogenen Probanden (Alter 11–72 Jahre, 29 Frauen, fünf professionelle Musiker, 20 Amateurmusiker und 13 Nicht-Musiker) analysierten wir die musikalischen Parameter der jeweils individuellen Gänsehautmusik im Labor. Bei 29% der Musikstücke konnten wir den Einsatz einer Melodiestimme, sei es eines Instrumentes oder einer Singstimme identifizieren. Bei 19% fanden wir einen Spitzenwert in der Lautheit und bei 14% einen Spitzenwert in der Brillanz, der sich in einem Anstieg der Energie im Frequenzbereich zwischen 920 und 4400 Hz niederschlug. Weniger ausschlaggebend war die Erhöhung des Parameters „Rauigkeit“. Bei 12% der Chill-Reaktionen wurde eine Erhöhung der Rauigkeit durch ein reduziertes Ton/Rausch-Verhältnis beobachtet. Dies entspricht einer Steigerung im Bereich der akustischen „Dichte“.<sup>39</sup> Dies geschieht zum Beispiel, wenn mehrere Instrumente im Orchestersatz hinzukommen, und Lautstärke und Tempo zunehmen. In der Empfindung der Probanden gehen alle diese akustischen Veränderungen mit einem Anstieg der Erregung einher, die wir in Echtzeit während des Hörens durch eine Computermouse und das Programm

<sup>37</sup> Sutherland, M.E., Grewe, O., Egermann, H., Nagel, F., Kopiez, R. & Altenmüller, E. (2009). *The influence of social situations on music listening*. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1169: 363–367.

<sup>38</sup> Grewe, O., Nagel, F., Kopiez, R. & Altenmüller, E. (2007). *Listening to music as a re-creative process: Physiological, psychological and psychoacoustical correlates of chills and strong emotions*. Music Perception 24(3), 297–314.

<sup>39</sup> Nagel, F., Kopiez, R., Grewe, O., Altenmüller, E. (2008). *Psychoacoustic correlates of musically induced chills*. Musicae Scientiae 12, 101–113.

„EmuJoy“ erfasst<sup>40</sup>. Dabei werden Änderungen der Erregung (Arousal) und des Gefallens (Valenz) stufenlos auf einem zweidimensionalen Koordinatensystem abgebildet. Ein typisches Beispiel für alle oben genannten Kriterien ist der „Barrabas-Ruf“ in der Matthäus-Passion von Johann Sebastian Bach. Wie oben schon erwähnt ist die Chill-Reaktion beim „Barrabas-Ruf“ nicht reflexhaft, sondern hängt von vielen Faktoren ab, z.B. von der Hörsituation des Individuums, vom allgemeinen Wohlbefinden, von der Aufmerksamkeit und von der Tagesform.

In Bezug auf Persönlichkeits-Faktoren unterschieden sich in der oben untersuchten heterogenen Gruppe die Teilnehmer mit häufigen Chill-Reaktionen (Chill-Responder) stark von jenen, die keine Chills verspürten. Chill-Responder waren vertraut mit klassischer Musik, bewerteten Musik als wichtiger für ihr Leben, identifizierten sich mehr mit der Musik, die sie bevorzugten, und hörten im Alltag häufiger Musik. In Bezug auf psychologische Merkmale zeigten Chill-Responder eine allgemeine Tendenz zu niedrigeren Reizschwellen, waren empfindsamer und waren stärker abhängig von anderen Menschen und von emotionaler Zuwendung.<sup>41</sup>

Da die Vertrautheit mit dem musikalischen Genre und persönliche emotionale Erinnerungen wichtige Faktoren für die Auslösung von Chill-Reaktionen zu sein schienen, wollten wir dies in einem weiteren Experiment genauer überprüfen. Wir rekrutierten 54 Patienten aus drei verschiedenen Amateur-Chören, die Mozarts Requiem aufgeführt hatten, im folgenden „Mozart-Gruppe“ genannt, und 41 Teilnehmer aus Gospel- und Pop-Chören, im folgenden als „Kontrollgruppe“ bezeichnet. Letztere waren nicht mit dem Mozart-Requiem und mit klassischer Musik vertraut. Wir spielten nun diesen Teilnehmern emotional bewegende Auszüge aus Mozarts Requiem (Lacrimosa, Confutatis, Rex tremendae, Tuba mirum, Dies irae), wobei wir sowohl eigene Aufnahmen aus der Mozart-Gruppe als auch eine Interpretation von Herbert v. Karajan verwendeten. Darüber hinaus wurden Auszüge aus dem Requiem von Puccini und aus der Bach-Motette „Unser Leben ist ein Schatten“ gespielt, die jeweils nur von einem der drei Chöre der Mozart-Gruppe gesungen worden waren. Gemessen wurden die subjektive Intensität der Gefühle und die wahrgenommenen Chill-Reaktionen mit dem EMuJoy-Programm. Zusätzlich wurden Hautleitfähigkeit, Herz- und Atemfrequenz abgeleitet.

Vergleichbar mit früheren Ergebnissen von Goldstein und Guhn berichteten nur etwa zwei Drittel der Teilnehmer über eine Chill-Reaktion. Es gab eine hohe

<sup>40</sup> Nagel, F., Kopiez, R., Grewe, O. & Altenmüller, E. (2007). *EMuJoy: software for continuous measurement of perceived emotions in music*. Behav. Res. Methods. 39(2), 283–290.

<sup>41</sup> Siehe Grewe et al. 2007.

Variabilität. Die maximale Chill-Anzahl während des etwa eine Stunde dauernden Experiments betrug bei einem Probanden 88! Im Durchschnitt erlebte jeder Teilnehmer 9 Chill-Reaktionen. Interessanterweise zeigte sich kein Zusammenhang mit Alter, Geschlecht, oder mit der Vorliebe für klassische Musik. Allerdings beeinflusste die Vertrautheit mit der Musik die Häufigkeit der Chill-Reaktionen. Sie traten weitaus häufiger in der Mozart-Gruppe als in der Kontrollgruppe (72% gegenüber 56% der Teilnehmer) auf, und die Gesamtzahl der Chill-Reaktionen war in dieser Gruppe viel höher als in der Kontrollgruppe (679 vs. 173 Chill-Antworten). Auch beim Hören der Bach-Motette und des Puccini-Requiems waren die Chill-Antworten signifikant häufiger bei den Choristen, die diese Stücke gesungen hatten. Weniger wichtig schien zu sein, ob die eigene oder eine fremde Interpretation gehört wurde.<sup>42</sup> Offensichtlich ist die Vertrautheit mit dem Stimulus ein wichtiger Faktor bei der Auslösung von Chill-Reaktionen. Darüberhinaus fördern musikalische Biografie und individuelle Assoziationen, zum Beispiel die Erinnerungen an eine erhebende Aufführung in einer großartigen gotischen Kathedrale, die Empfänglichkeit für eine Chill-Reaktion enorm.

Im Folgenden wollen wir unsere Befunde in Bezug auf das übergreifende Thema dieses Aufsatzes, – nämlich auf den evolutionär adaptiven Wert der Musik –, stellen. Demnach beruht die Chill-Reaktion biologisch auf einer phylogenetisch alten, reflexartigen Reaktion des sympathischen Nervensystems in Zusammenhang mit Thermoregulation und Droh- und Einschüchterungsgebärden. Sie ist biologisch mit Zunahme der Erregung verbunden und erleichtert die Gedächtnisbildung. Beim Menschen erfolgt die Reaktion im auditiven Bereich einerseits in Zusammenhang mit negativ bewerteten, lauten, hochfrequenten, und rauen Geräuschen, andererseits im Zusammenhang mit angenehmen musikalischen Stimuli, die mit einer Aktivierung des dopaminergen Belohnungssystems im Gehirn einhergehen. Faktoren, die diese positiven Chill-Reaktionen fördern sind: plötzliche strukturelle Veränderungen der Musik, Anfang von etwas Neuem, Erhöhung der Lautstärke im hohen Register, Verknüpfung mit positiven emotionalen Erinnerungen und eine allgemeine Vorliebe für das betreffende Musikgenre. Chill-Reaktionen sind ausserdem bei empfindsamen und sozialen Persönlichkeiten häufiger. Im folgenden letzten Abschnitt werden wir zeigen, wie die Chill-Reaktion einen adaptiven Wert der Musik in der menschlichen Evolution begründen könnte. Schließlich werden wir unser Modell der „gemischten Ursprünge der Musik“ (MOM) in der menschlichen Evolution vorstellen.

---

<sup>42</sup> Grewe, O., Altenmüller, E., Nagel, F., Kopiez, R. (2009). *Evolutionary-based universals? A discussion of individual emotional reactions towards music*. *Musicae Scientiae* 13, 261–287.

### **Zu den evolutionären Wurzeln der Musik: Hinweise aus der Chill-Reaktion**

Der evolutionär adaptive Wert der Chill-Reaktion liegt auf der Hand, wenn man die oben genannten biologischen Begleiterscheinungen bedenkt. Negative Chill-Reaktionen waren vielleicht die Reaktionen auf die kreischenden, panischen Schreie von Artgenossen, die von einem Feind angegriffen wurden. Sie können als Reste eines evolutionär alten affektiven Kommunikationssystems betrachtet werden. Noch heute findet man bei vielen sozial lebenden Säugern bei Bedrohung derartige Lautäußerungen. Ausserdem fördern die negativen Emotionen ein Vermeidungsverhalten, sodass der Abstand zur Schallquelle erhöht wird. Auf diese Weise wird ein Sicherheitsabstand erzielt und das Gehör geschützt. Schließlich wird in Zusammenhang mit kämpferischen Auseinandersetzungen der Gegner durch die aufgestellten Haare eingeschüchtert und gleichzeitig die Gedächtniskonsolidierung für die Situation gefördert. Auf diese Weise werden die Situationen besser memoriert und auch die damit verbundenen akustischen Muster eingespeichert. Vielleicht reichen ja die Wurzeln eines solchen Verhaltens ca. drei Millionen Jahre zurück, als unser ca. ein Meter kleiner Vorfahr, *Australopithecus afarensis*, durch das hohe Gras der zentralafrikanischen Trockensteppen streifte und von den Schreien der ihn jagenden grossen afrikanischen Adler in Panik versetzt wurde.

Die Situation für die positive Chill-Reaktion beim Hören von Musik ist komplizierter. Die häufig zitierte, oben erwähnte „Trennungsruf“-Theorie von Jaak Panksepp<sup>43</sup> ist bislang noch nicht empirisch belegt. Gegen den Trennungsruf als ursprüngliche Quelle der Chill-Reaktion spricht der fehlende Nachweis von akustisch evozierten Chill-Reaktionen bei Säuglingen und Kleinkindern, zum Beispiel beim Hören von beruhigenden Wiegenliedern. Eventuell ist ein solches Phänomen bislang übersehen worden. Aber nach unseren informellen Befragungen von Kindern und Jugendlichen scheinen die positiven Chill-Reaktionen frühestens kurz vor Erreichen der Pubertät aufzutreten. Zugegebenermaßen fehlt auch zu diesem interessanten Thema noch empirische Forschung.

Es gibt zwei weitere Möglichkeiten, den positiven Chill-Reaktionen einen evolutionär adaptiven Wert zuzusprechen. Da Chill-Reaktionen vor allem bei neuen, unerwarteten akustischen Stimuli entstehen und die Gedächtnisbildung erleichtern, wird dadurch unser akustisches Muster-Erkennungsvermögen erhöht und unser Repertoire an akustischen Gestalten erweitert. Darüberhinaus ist die Chill-Reaktion mit der Aktivierung der neuronalen Belohnungsnetzwerke verbunden, wodurch die Erlebnisse positiv bewertet werden, und unsere Neugier

---

<sup>43</sup> siehe J. Panksepp 1995.

auf unerwartete akustische Ereignisse lustvoll gesteigert wird. Dies wiederum war von evolutionärer Bedeutung, da eine schnelle und präzise Klassifizierung von akustischen Reizen eine Voraussetzung für ein optimales Verhalten war. So konnten wir die Geräusche eines sich nachts anschleichenden Raubtiers, aber auch die feinen Nuancen der emotionalen Lautäußerungen unserer Artgenossen sicher erkennen. Wir vermuten daher, dass die treibende Kraft für die Entwicklung unseres überlegenen auditiven Gedächtnisses eben jene Chill vermittelte Belohnung bei der Identifizierung neuer akustischer Muster war. Vermutlich boten auch die ersten Lieder und Gesänge, die ersten Klänge von primitiven Musikinstrumenten, z.B. das Schlagen mit Hölzern auf hohle Baumstämme, einen sicheren Rahmen, um das auditive Unterscheidungsvermögen zu trainieren. Darüber hinaus wurden die stimmlichen Fähigkeiten verbessert, und damit auch die Voraussetzungen für ein hochdifferenziertes akustisches Kommunikationssystem, nämlich Sprache, geschaffen.

Das zweite evolutionär adaptive Merkmal der Chill-Reaktion ist die Erzeugung von positiven Emotionen. Durch Aktivierung des sympathischen Nervensystems und des Belohnungssystems konnte Musik als eine „transformative Technologie des Geistes“ (TTM) Momente des Glücks und des Trostes im harten Leben der frühen modernen Menschen bereiten. Vor 35.000 Jahren lagen die Hohle Fels- und Geißenklösterle-Höhlen in alpiner Tundra. Erkrankungen des Bewegungsapparates, Magen-Darm-Infektionen, Parasiten, Zahnschmerzen und die allgegenwärtige Kälte machten das Leben beschwerlich. Musik konnte hier Momente des Wohlbefindens erzeugen, und so die Liebe zum Leben neu erwecken.

Was sind dann die Ursprünge der Musik und wann begann Musik, Teil unseres menschlichen Daseins zu werden? Im folgenden wollen wir unsere „Mixed Origins of Music“-Theorie, oder kurz „MOM-Theorie“ darstellen. Darin versuchen wir, die verschiedenen Aspekte zu berücksichtigen, die für einen evolutionär adaptiven Wert der Musik sprechen. Wir sind uns bewusst, dass diese Theorie – wie viele andere Theorien zur Evolution – nicht direkt nachgewiesen werden kann, da es keine Aufzeichnungen über die musikalischen Aktivitäten der ersten Menschen gibt. Allerdings sind wir bestrebt, unsere Argumente mit physiologischen Befunden, die auf phylogenetisch alte Mechanismen verweisen, zu unterstützen.

Wenn wir die Chill-Reaktion bei Musik betrachten, so kann man davon ausgehen, dass ihre Wurzeln phylogenetisch alt sind und ursprünglich der Thermoregulation, aber auch der Abwehr gedient haben. Das erklärt, warum diese Reaktion einerseits bei positiv bewerteten Reizen, die mit „sozialer Wärme“ einhergehen, andererseits bei negativ bewerteten schrillen Lauten auftritt. Im Lauf der Phylogenese wurden diese sehr einfachen Reaktionen veränderbar und die reflexartigen Verschaltungen wurden durch Lernen moduliert. Insbesondere, nachdem die Behaarung und damit der ursprüngliche thermoregulatorische Zweck



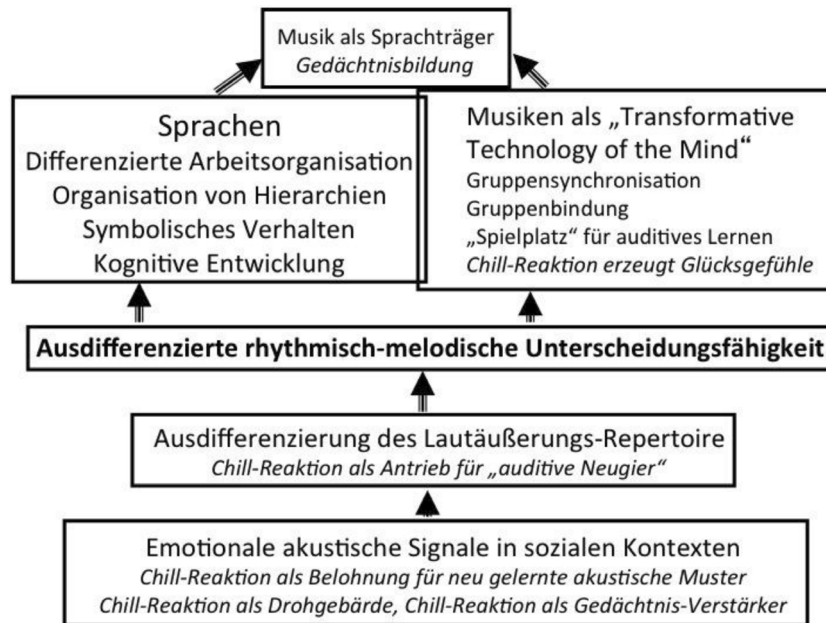


Abb. 1: Modell der „Mixed Origins of Music“ Theorie.

verloren war, konnte die Chill-Reaktion für andere Sinnesmodalitäten genutzt werden. Die begleitende Erregung und die Ausschüttung von Neurohormonen unterstützten die Gedächtnisbildung. Dies war insbesondere in der akustischen Modalität von Vorteil, da sich das soziale Lautrepertoire der frühen Hominiden enorm erweiterte, und somit vor allem auch ein leistungsstarkes Gedächtnis für auditive Muster notwendig wurde. Vermutlich traten diese Chill-Reaktion bei einfachen emotionalen Lautäußerungen, zum Beispiel bei Stöhnen und Lachen auf. Nach und nach entwickelte sich eine differenzierte rhythmisch-melodische Unterscheidungsfähigkeit, die erst die Voraussetzung für die „Erfindung“ der Musik bildete. Dieser Vorgang könnte mit der Erfindung der Kontrolle des Feuers vergleichbar sein. Musik hatte dabei zahlreiche positive Wirkungen: sie unterstützte auf spielerische Weise die auditive Mustererkennung, sie förderte das Wohlbefinden und den sozialen Zusammenhalt. In Abbildung 1 haben wir unsere MOM – Hypothese graphisch dargestellt und das oben gesagte zusammengefaßt.

Zusammenfassend argumentieren wir, dass auf der Grundlage eines sehr alten affektiven Kommunikationssystems auditives Lernen durch die Chill-Reaktion belohnt wurde. Dies führt zu einer zunehmenden Verfeinerung der auditiven

Diskriminationsfähigkeit, zur präzisen Wahrnehmung von Rhythmen und Melodien. Dies wiederum könnte den Boden für den Erwerb von Sprache und auch für die „Erfindung“ der Musik bereitet haben. Musik diene dabei zahlreichen Funktionen, ähnlich wie ja auch die Kontrolle des Feuers zahlreiche positive Konsequenzen für die Menschen hatte. Musik bot einen sicheren „Spielplatz“ für neue Hör-Erfahrungen, förderte die Gruppen-Synchronisierung, den Gruppenzusammenhalt, die Mutter-Kind-Bindung und den Spracherwerb. Musik erhöhte das Wohlbefinden – und in seltenen Momenten erzeugte Musik sogar Glücksgefühle: die Chill-Reaktion.

## Die verkörperte Entwicklung der Sprache\*

THOMAS FUCHS

Klinik für Allgemeine Psychiatrie, Universitätsklinikum Heidelberg  
Voß-Straße 4, D-69115 Heidelberg

Seit der Antike hat sich der Mensch vor allem als das Wesen ausgezeichnet, das *Sprache* hat – als *zoon logon echon*, wie es bei Aristoteles heißt, später als *animal rationale*. Danach ist der Mensch einerseits ein Lebewesen wie die Tiere (*animalia*), andererseits aber durch Sprache und Vernunft prinzipiell von ihnen verschieden. Durch diese allein erlangt er Kultur, Kunst, Wissenschaft und Technik. In seinen leiblichen Bedürfnissen, Trieben und Affekten gleicht er seinen tierischen Verwandten; die vernünftige Sprache jedoch zeichnet ihn vor allen anderen irdischen Wesen aus. Somit ist *Homo sapiens* ein in sich zwiespältiges Kentaurenwesen, ein Zwitter aus Animalität und Rationalität, ein *animal rationale*.

Dieser traditionellen Anthropologie dürfte es noch zuzuschreiben sein, dass sowohl die Kultur- als auch die Kognitions- und Neurowissenschaften die Sprache lange Zeit nur als ein komplexes geistiges Symbolsystem betrachtet haben. Die Tatsache, dass die Sprache vom Miteinander-Sprechen stammt, und dieses in erster Linie eine körperliche Ausdrucksbewegung, eine gemeinsame Sprachhandlung darstellt, mit einem Wort also: die *Leiblichkeit* der Sprache galt nur als ein akzidentelles Merkmal, das keine Auswirkungen auf ihre Struktur und Inhalte selbst zu haben schien.

Erst die Säuglingsforschung und die evolutionäre Anthropologie der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, welcher Reichtum von Kommunikation und Dialog sich beim Menschen schon vor dem Erlernen der Sprache entfaltet. Die leibliche Kommunikation oder die Körpersprache, wie man sie auch nennt, wird vor allem vermittelt durch den Ausdruck in Mimik und Gestik, durch die Intonation der Stimme und schließlich durch die gesamte Körperhaltung. Bereits diese Ausdruckscommunication des Menschen weist eine Differenziertheit und Vielfalt auf, die im Tierreich einzigartig ist. Sie ist aber auch die Grundlage, auf der sich in der frühen Kindheit die sprachlich-symbolischen Formen der Verständi-

---

\* Der Vortrag wurde am 13.05.2011 beim Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

gung überhaupt erst entwickeln können. Denn wie wir noch sehen werden, setzt der Erwerb der Sprache voraus, dass Kinder ein Verständnis für die Intentionen anderer entwickeln; und diese Intentionen sind ihnen zunächst nur als verkörperte zugänglich, nämlich als sichtbare Ausdrucks-, Ziel- und Zeigebewegungen, deren Sinn sich im Kontext der praktisch-leiblichen Interaktion zeigt.

Die These, die ich im Folgenden vertreten möchte, lautet: *Sprache ist eine Form verkörperter Intersubjektivität; sie entwickelt sich im gemeinsamen praktischen und intentional gerichteten Handeln von Personen*. Sprache beruht, mit einem Wort des Phänomenologen Merleau-Ponty (2003, S. 256), auf der *intercorporéité* oder Zwischenleiblichkeit – einer Sphäre wechselseitigen Verstehens und gemeinsamen Tuns, aus der die Worte erst ihre Beziehungen und Bedeutungen schöpfen. Im Zuge dieser praktischen Interaktionen wird auch das Gehirn des Kindes von der Sprache geprägt: Nur in und durch Beziehungen wird das Gehirn zu einem Organ des Geistes (Fuchs 2010).

Im Folgenden gebe ich zunächst eine kurze Darstellung des Verhältnisses von Sprache, Gehirn und Körper, um mich dann der verkörperten Entwicklung der Sprache zuzuwenden.

### (1) Sprache, Gehirn und Körper

Bereits 1980 haben Lakoff und Johnson in ihrem Buch „Metaphors we live by“ auf die leibliche Basis der Sprache hingewiesen. Sie beschrieben über 50 Schemata von körperbezogenen sprachlichen Metaphern: Leibliche Grunderfahrungen wie die von innen-außen, oben-unten, vorne-hinten, rasch oder langsam, verzögert oder beschleunigt, nah oder fern usw. werden zu Schemata der Begriffsentwicklung und der Metaphorik. Der Kopf wird zum *Oberhaupt*, die Hand wird zur *Handlung*, das Begreifen zum *Begriff*; eine Einteilung nennen wir auch *Gliederung*, Eigentum *Be-sitz*; der Begriff der *Aufrichtigkeit* stammt ab vom aufrechten Gang, *Gerechtigkeit* aus der Erfahrung des Gleichgewichts usw.

Dieser Zusammenhang von Sprache und Leiblichkeit ist in den letzten 1–2 Jahrzehnten auch in den sogenannten Embodiment-Konzeptionen der Kognition (*embodied cognition*) untersucht worden. Danach gibt es keine strikte Trennung zwischen „höheren“ und „niederen“ kognitiven Funktionen, also zwischen Denken und Sprache auf der einen und Wahrnehmung und Bewegung auf der anderen Seite. Motorische, sensorische und sprachliche Funktionen sind intermodal verknüpft. Das schlägt sich auch in der Beziehung von Sprache, Gehirn und Körper nieder: Hört und versteht man Worte, so werden die gleichen sensomotorischen Areale im Gehirn aktiviert wie für das praktische leibliche Umgehen mit den Objekten, auf die sich die Worte beziehen (Gallese 2008, Pulvermüller 2005, Jirak et al. 2010). Dafür gibt es verschiedene Belege:

- Beim Hören der Worte „greifen“, „gehen“ oder „schreien“ werden neben den rezeptiven Spracharealen auch die motorischen Zentren für die entsprechenden Handlungen aktiviert. Es gibt eine regelrechte Somatotopie der Sprache v.a. im prämotorischen Kortex: Pulvermüller (2005) fand hier spezifische fMRT-Aktivitätsmuster für Verben, die sich auf Mund, Arme oder Beine beziehen wie *lick*, *pick* und *kick*.
- Rüschemeyer, Brass und Friederici (2007) fanden im primären motorischen und im prämotorischen Kortex höhere Aktivierungen bei handlungsbezogenen als bei abstrakten Verben.
- Bei Darbietung von Verben mit Handbewegungen wird bei Rechtshändern eher der linke, bei Linkshändern eher der rechte prämotorische Kortex aktiviert (Willems et al. 2010)
- Schließlich zeigte sich, dass Areale, denen man bislang rein sprachliche Funktionen zuordnete, wie die Broca- und die Wernicke-Region, tatsächlich Sprache und Körperbewegung miteinander verbinden, und zwar über das Spiegelneuronen-System. So fanden sich bei Affen in der zum Broca-Areal homologen Region *audiomotorische Spiegelneurone*, die Handlungen und begleitende Geräusche verknüpfen, also z.B. beim Hören von knackenden Erdnüssen die entsprechenden Handbewegungen mit aufrufen oder simulieren (Keysers et al. 2003). Möglicherweise vermitteln solche Systeme auch beim Menschen das Hören von Sprache mit den zugehörigen Handlungen – ich komme darauf zurück.

All diese Forschungen sind freilich im Fluss und noch keineswegs abschließend zu beurteilen. Doch stellen sich bereits jetzt die Fragen: Handelt es sich hierbei nur um genetisch vorgegebene neuronale Muster, die durch entsprechende Hirnreifung zum passenden Zeitpunkt aktiviert werden? Oder werden sprachliche und körperliche Aktionen erst sekundär verknüpft? Oder aber: Spielt der Körper mit seinen Handlungserfahrungen auch für den *Erwerb und die neuronale Verankerung von Sprache* eine grundlegende Rolle? Mit anderen Worten: Formen körperliche Erfahrungen unseren Geist?

Ich habe zu Beginn bereits die These aufgestellt, dass sich Sprache als eine Form von verkörperter Intersubjektivität entwickelt, und will sie nun näher begründen. Dazu untersuche ich die Entwicklung von präverbalen zu verbalen Stufen der Intersubjektivität.

## (2) Die verkörperte Entwicklung der Sprache

### Primäre Intersubjektivität

Säuglinge sind von Geburt an auf soziale Interaktionen eingestellt. Sie verfügen zum einen über die angeborene Fähigkeit, belebte und unbelebte Objekte

zu unterscheiden. Zum anderen zeigen sie von Geburt an eine erhöhte Aufmerksamkeit für Gesichter. Mehr noch: Sie sind auch von Anfang an in der Lage, Gesten von Erwachsenen wie Zungezeigen, Mundöffnen, Stirnrunzeln u.a. zuverlässig nachzuahmen (Meltzoff u. Moore 1977). Sie verfügen offensichtlich über ein angeborenes soziales Körperschema, das es ihnen ermöglicht, den eigenen gespürten Körper von vorneherein als verwandt mit dem gesehenen Körper des anderen zu erfahren. Das Neugeborene nimmt also seine Mutter nicht als bloßes „Bild“ oder Gegenüber wahr, sondern *mimetisch*, indem es ihren Ausdruck in sich nachbildet. Die Forschungen der letzten 1–2 Jahrzehnte sprechen dafür, dass diese Fähigkeit des menschlichen Säuglings zur spontanen Nachahmung von Ausdruck und Handlungen anderer die Grundlage für das interpersonale Verstehen ist.

Über diese Nachahmungs- und Ausdrucksformen entwickelt sich auch zunehmend eine *emotionale Resonanz* zwischen Säugling und Mutter. Sie antwortet auf seine Signale und Initiativen intuitiv mit geeigneten stimmlichen und gestischen Reaktionen. Mutter und Säugling entwickeln schon in den ersten Monaten sogenannte „Protokonversationen“ (Trevvarthen 2001), also Sequenzen von abwechselnden Äußerungen mit Lauten, Lächeln und Gesten wie bei einem Gespräch – der spätere sprachliche Dialog wird hier schon vorgezeichnet. Mütter und Väter benutzen dabei unbewusst vereinfachte, prototypische Verhaltensformen (Ammensprache, expressive Mimik, Augenkontakt, Begrüßungsreaktion u.a.), die den noch wenig entwickelten Repertoires des Kindes entsprechen (Papoušek u. Papoušek 1995).

Dieser frühe intensive Dialog ist besonders geprägt von *musikalischen* Ausdrucksqualitäten ('crescendo', 'decrescendo', fließend, weich, explosiv etc.), vom Rhythmus und von der Dynamik der mimischen, stimmlichen und gestischen Interaktion. Sie führt zu der wechselseitigen „Affektabsimmung“ von Mutter und Säugling, die Daniel Stern (1998) hervorgehoben hat. Im Laufe dieser präverbalen Kommunikation lernt das Kind zunehmend, den mütterlichen Gefühlsausdruck mit typischen wiederkehrenden Situationen in Verbindung zu bringen und so seine verschiedenen Bedeutungen zu unterscheiden. Es erfährt auch, dass seine eigenen Reaktionen die Mutter zu einem bestimmten Verhalten veranlassen, und entwickelt dadurch Verhaltenserwartungen. All dies vermittelt ihm das Grundgefühl, mit anderen in einer gemeinsamen Welt zu leben, von ihnen wahrgenommen zu werden und mit ihnen verbunden zu sein – eine zentrale Voraussetzung für die nun folgenden Schritte.

### **Sekundäre Intersubjektivität**

#### **(a) Joint attention und die Zeigegeste**

Auf der nächsten Stufe, der sekundären Intersubjektivität, entwickelt sich die sprachlich-symbolische Kommunikation und damit die eigentliche menschl-

che Dialogfähigkeit. Einen entscheidenden Schritt dazu bedeutet das Phänomen der „gemeinsamen Aufmerksamkeit“ („joint attention“), das sich etwa ab dem 9. Lebensmonat zeigt. In diesem Alter beginnen Babys, sich gemeinsam mit Erwachsenen Gegenständen zuzuwenden und sich dabei deren Aufmerksamkeit durch kurze Blicke zu vergewissern. Bald gehen die Babys aber auch dazu über, selbst die Aufmerksamkeit der Erwachsenen durch *Zeigegesten* auf Dinge zu lenken.

In einem aufschlussreichen Experiment von Michael Tomasello beobachteten ca. 12 Monate alte Säuglinge, wie ein Erwachsener ein Blatt Papier lochte und in eine Mappe heftete. Der Erwachsene verließ nun den Raum, und ein anderer Erwachsener trat herein, nahm die Mappe und legte ihn in einen gut sichtbaren Schrank, den er dann verschloss. Er verließ den Raum, der erste Erwachsene kam wieder herein und schaute mit einem Papier in der Hand suchend umher. In den meisten Fällen blickten die Säuglinge aufmerksam auf den Erwachsenen und zeigten dann auf den Schrank (Liszkowski et al. 2006).

Wie können wir dieses Experiment interpretieren? – Offensichtlich erkannten die Säuglinge die „Intention“ des Erwachsenen, und zwar nur aufgrund seiner vorausgegangenen Handlung und seines jetzigen fragenden Ausdrucks. Intentionen sind also nicht etwas nur Inneres, rein Geistiges, sondern sie sind wahrnehmbar in den zielgerichteten leiblichen Handlungen anderer, die ihren Sinn aus dem Kontext der gemeinsamen Situation erhalten. Es bedarf nicht erst einer „Theory of Mind“ oder einer Schlussfolgerung, um andere in einem praktischen Kontext unmittelbar zu verstehen. Mehr noch, die Säuglinge versuchten auch, dem Erwachsenen zu helfen und zeigten dabei auf den gesuchten, in diesem Fall sogar auf einen abwesenden Gegenstand. Umgekehrt beginnen Babys in diesem Alter auch, die Zeigegesten der Erwachsenen zu verstehen, indem sie nämlich der Richtung des Zeigens mit dem Blick folgen. Was bedeutet dieses Zeigen?

Zeigen beinhaltet zunächst die gemeinsame Beziehung auf ein Drittes, das von beiden Partnern gesehen wird. Wir haben es also nicht mehr mit der primären dyadischen, sondern mit einer *triadischen* Situation zu tun, bestehend aus dem Säugling, dem Erwachsene und dem gemeinsam intendierten Objekt oder Ziel einer Handlung (Tomasello 2002, S. 84ff.). In der gemeinsamen Aufmerksamkeit, sichtbar in der Parallelisierung der Blickachsen von Kind und Erwachsenen, manifestiert sich eine spezifisch menschliche Kommunikation, nämlich die Verständigung über einen gemeinsamen äußeren Bezugspunkt. Hier liegt die grundsätzliche Grenze der mentalen Fähigkeiten anderer Primaten, die keine „joint attention“ entwickeln können (Fuchs 2010, 207f.). Sie verstehen die Handlungen anderer immer nur dyadisch, indem sie z.B. deren Gesten auf sich selbst beziehen oder imitieren. Sie folgen ihnen nicht *weg von sich selbst*, auf ein äußeres Ziel hin, oder mit anderen Worten: Sie blicken nicht in die gleiche Richtung, im Bewusstsein, dass auch der andere dies tut.

Ursprünglich stammt das Zeigen aus einer unvollständigen Greifbewegung – das Kind versucht vergeblich etwas zu erreichen – die nun von der Mutter mit einer Hilfgeste beantwortet wird: sie gibt dem Kind, was es wollte. Damit erhält die zuvor instrumentelle Handlung buchstäblich eine neue „Bedeutung“, sie geht in eine symbolische Handlung über (vgl. Vygotski 1978, S. 56). Das Zeigen „bedeutet“ jetzt das Objekt, statt es zu erfassen. Der andere muss diese Bedeutung verstehen, d.h. die unterbrochene Bewegung geistig zu Ende führen. Die Zeigegeste ist der Ursprung geteilter Bedeutungen und damit des *Zeichens* – des Gebildes, das für etwas anderes steht, es repräsentiert (Fuchs u. DeJaegher 2009). Auf den genetischen Zusammenhang von Zeigen, Zeichnen und späterem Sprechen weist auch die Etymologie hin: „Zeigen“ und „Zeichnen“ haben die gleiche indogermanische Wurzel <*deik*>. Sie findet sich auch im griechischen „*deíknymi*“ (zeigen, weisen) und „*dáktylos*“ (Finger), ebenso im lateinischen „*dicere*“ (zeigen, sagen, sprechen) und „*digitus*“ (Finger) (Kluge 1989, S. 807).

Die Zeigegeste ist noch in anderer Weise grundlegend. Der Säugling erlebt nämlich dabei, dass es eine Konzentrationsrichtung der anderen gibt, die er selber beeinflussen kann. Er beginnt zu begreifen, dass die Welt aus den Augen der Mutter anders aussieht, dass er sich aber mit ihr darüber verständigen kann. Er zeigt ihr einen Gegenstand, weil er merkt, dass sie ihn noch nicht sieht, aber gleich sehen könnte. Das heißt, er entwickelt ein erstes Verständnis dafür, dass es eine von der seinigen unterschiedene Perspektive gibt. Und er versteht, dass ein Gegenstand oder ein Wissen für den Erwachsenen eine Bedeutung hat. Darin manifestiert sich eine so grundlegend neue Stufe der Intersubjektivität, dass Tomasello auch von der 9-Monats-Revolution spricht (Tomasello 2002).

#### (b) Andere Gesten

Freilich gibt es außer der Zeigegeste noch weitere kommunikative Gesten, die sich im 1. und 2. Lebensjahr entwickeln. In nahezu allen Kulturen bedeutet z.B. ein Kopfschütteln „nein“. Den Anfang dieser Bewegung lässt sich bereits beim Säugling beobachten, der auf einen unangenehmen Reiz hin den Kopf zur Seite und somit das Gesicht vom Reiz weg bewegt. Im Verlauf der Phylogenese kam es vermutlich zu einer Ritualisierung. Da das Signal eindeutig sein muss, wurde es auffälliger ausgeführt, d.h. mit einer vergrößerten und wiederholten Kopfdrehung. Auf der anderen Seite steht ein Kopfnicken in den meisten Kulturen für ein „ja“. Das Senken des Kopfes bedeutete wahrscheinlich eine Art Demutsgeste mit dem Sinn: Ich beuge mich dem, was du sagst, ich bin einverstanden.

Weitere Gesten, die sich im zweiten Lebensjahr entwickeln, sind ikonischer Natur, d.h. sie repräsentieren pantomimisch Handlungen oder rufen Abwesendes in der Vorstellung wach: Hochheben der Arme bedeutet „groß“, Pusten „zu heiß“, „Hecheln“ steht für Hund, „Armeschlagen“ für „Vögelchen“ usw. (Tomasello 2009, S. 159f.). Bevor das Baby also spricht, ist es in der Lage, den



Sinn einer elementaren Gebärdensprache zu erfassen und sich damit auszudrücken. Die deiktische Gestik und die ikonischen Gebärden als körperliche Darstellungshandlungen bilden die Vorstufe der Sprache.

#### (c) Entwicklung der Sprache

Wie kommt es nun zum Übergang von dieser analogen, körperlichen Darstellung zur symbolisch-sprachlichen Kommunikation?

Der Spracherwerb vollzieht sich nicht rein kognitiv, als wäre Sprache ein abstrakt zu erlernendes Zeichensystem, sondern er ist eingebettet in eine gemeinsame Praxis. Die Voraussetzungen dafür sind:

- (1) die Teilnahme des Kindes an einer Interaktionsform, die schon vorsprachlich erschlossen und verständlich ist. Der sprachliche Austausch setzt den zwischenleiblichen Austausch voraus.
- (2) die gemeinsame Aufmerksamkeit auf ein Drittes, und zwar in dem praktischen Kontext, auf den sich die Sprache bezieht – also die triadische Situation;
- (3) das Erfassen der kommunikativen Absichten der anderen als intentionaler Akteure.

Die soziale Praxis stellt also den Bezugspunkt und zugleich den Rahmen dar, innerhalb dessen eine Symbolsprache erlernt werden kann. Konkret bedeutet dies, dass sich mit den schon verständlichen Gesten, besonders mit der Zeigegeste, die ersten Worte verbinden. Die Eltern zeigen auf Gegenstände und benennen sie. Ebenso sind die ersten Worte, die Kinder ab dem 1. Lebensjahr erlernen, häufig mit Zeigegesten verknüpft, etwa deklarative Protoworte wie „da!“. Auch hier ist es die Interaktion, die aus der spontanen Lautproduktion, dem Lallen des Babys die Wortlaute selektiert und sie zu bedeutsamen Signalen macht: Wenn das Kind beispielsweise „Mama“ oder „Papa“ sagt, unterstellen die Eltern dem Kind die Absicht, diese Wörter bewusst zu bilden, und verstärken sie dementsprechend.

Das Wort ist also eigentlich eine *Lautgebärde* und ergänzt zunächst nur die Zeigegeste als erstes Zeichen. Aber die Stimme löst das Zeichen auch von der physischen Bewegung ab und transponiert es in das unsichtbare, nicht mehr lokalisierbare Medium des Schalls (Fuchs 2010, S. 210). Damit vervielfachen sich die Möglichkeiten der Bezugnahme, und die Lautzeichen lassen sich schließlich sogar von der konkreten Situation ablösen. Die gestisch-ikonische Darstellung wird dann zunehmend durch die propositionale Sprache ersetzt, und die weiterhin sprachbegleitenden Gesten dienen eher bildhaften Aspekten, etwa um Formen, Richtungen und Gestalten dessen zu illustrieren, worüber man spricht.

Auch wenn sich die sprachlichen Bedeutungen zunehmend von der konkreten Situation ablösen lassen – zunächst wird die gesamte frühe Sprache im Zuge

interaktiver Situationen erworben: Windeln wechseln, ein Bad nehmen, Essen im Kinderstuhl, Enten füttern, aus Klötzen einen Turm bauen, usw. Immer lernt das Kind zuerst, an der jeweiligen Praxis mitzuwirken und gemeinsame Ziele auszubilden, dann ordnet es die gehörte Sprache in diesen Kontext ein (Bruner 1983/1987). Das Wort „Ball“ lernt es beim Ballspielen, das Wort „da“ in Verbindung mit der Zeigegeste, das Wort „au!“ in Verbindung mit dem Schmerzausdruck, usw. Ohne eine sinnvolle Interaktion mit den Erwachsenen, die einen sprachlichen Ausdruck verwenden, hören Kinder nur Geräusche, die aus ihrem Mund kommen. Ein Wort für einen neuen Gegenstand übernehmen sie nur dann, wenn die Aufmerksamkeit des Erwachsenen tatsächlich auf diesen Gegenstand gerichtet ist. Sieht die Bezugsperson in eine andere Richtung oder kommt die Stimme vom Band, stellt das Kind die Beziehung von Wort und Gegenstand nicht her (Dittmann 2002, S. 43). Das Sprachvermögen entwickelt sich also nur in intersubjektiven Handlungsvollzügen, in der zwischenleiblichen, auf die gemeinsame Umwelt gerichteten Praxis.

### Neurobiologische Grundlagen

Wie wir aus dieser kurzen Skizze des Spracherwerbs erkennen können, spielt der Körper mit seinen Interaktions- und Handlungserfahrungen dabei eine grundlegende Rolle. Wie spiegelt sich dies in der *neuronalen Verankerung* von Sprache wider?

Für die gesamte Sprachentwicklung spielt die Neuroplastizität eine zentrale Rolle; durch sie wird das Gehirn zur *Matrix* der Sprache. Dabei sind zwei Aspekte bedeutsam. Zum einen zeigt die früher entwickelte rechte Hirnhälfte in EEG-Studien bis etwa zum 2. Lebensjahr eine stärkere Aktivierung bei der Sprachverarbeitung als die linke. Dies dürfte der größeren Rolle der musikalischen Momente, also von Sprachmelodie, Intonation und Rhythmus für die Wahrnehmung des Kleinkindes entsprechen (Trevvarthen 1998). Je weiter die Entwicklung der symbolischen Sprache voranschreitet, desto mehr übernehmen Areale in der linken Hirnhälfte sprachrelevante Funktionen, insbesondere das Wernicke-, Broca-Zentrum und weitere prämotorische Areale sowie die Basalganglien. Doch auch im späteren Leben überlappen nach neueren Befunden die neuronalen Ressourcen für die Verarbeitung von Sprache und Musik noch stark, insbesondere in der Broca-Region und ihrem rechtshirnigen Pendant (Koelsch 2005, Koelsch et al. 2005). Dies legt nahe, dass das Gehirn zumindest im Kindesalter Musik und Sprache nicht als separate Domänen verarbeitet, sondern eher Sprache als eine besondere Form von Musik, ja *dass die musikalischen Fähigkeiten des Menschen eine entscheidende Voraussetzung für den Spracherwerb darstellen*. Dies entspräche der zentralen Rolle der melodisch-rhythmischen Interaktion und Affektresonanz in der frühen Mutter-Kind-Dyade, die zuvor bereits erwähnt wurde.

Hier handelt es sich also um einen emotionalen Aspekt der Sprachentwicklung, der sich besonders in der Prosodie manifestiert. Der zweite Aspekt hat mit der Einbettung des Spracherwerbs in Handlungskontexte zu tun. Für die neuronale Verknüpfung von Handlung, Wahrnehmung und Bedeutung durch die Sprache sind spezialisierte Systeme erforderlich, und vieles spricht dafür, dass hier das sensomotorische System der *Spiegelneurone* eine wesentliche Rolle spielt. Die Lokalisierung der Broca-Region im inferioren prämotorischen Kortex und ihr Zusammenfallen mit den Hauptarealen des Spiegelneuronensystems legt nahe, dass Sprache ursprünglich ein *interpersonales Resonanzsystem für Handlungsentwürfe* darstellte: Durch Vermittlung des Spiegelneuronensystems vermochte die Stimme die Vorstellung der gemeinten Handlungen und Objekte im Sprecher ebenso wie im Zuhörer aufzurufen. Näher lässt sich dies folgendermaßen vorstellen:

Spiegelneuronen reagieren auch auf nur angedeutete Zielbewegungen, d.h. sie werden auch dann aktiviert, wenn die Hand des Artgenossen nach einem zuvor schon gesehenen, nun aber verdeckten Objekt greift (Umiltá et al. 2001). Dies entspricht erkennbar der Zeigegeste, die ja, wie wir gesehen haben, auch ein unvollständiges Greifen darstellt. Damit wäre das Spiegelsystem geeignet, die Verknüpfung von Zeigen und Objekt zu unterstützen, indem es die entsprechende eigene Bewegungserfahrung mit aufruft. Die Entdeckung *audiomotorischer Spiegelneurone* im Broca-homologen Areal von Affen macht das auch für die *vokale Geste* plausibel (Kohler et al. 2002). Diese Neuronen werden aktiviert, (1) wenn das Lebewesen eine Aktion beobachtet, die ein Geräusch auslöst – etwa einen Schlag auf den Tisch –, (2) wenn es die Handlung selbst ausführt, oder auch (3) wenn es den Schlag nur hört. Übertragen auf die Stimme hieße dies, dass die gehörte Stimme die gleiche Handlung mit einem Objekt zu vergegenwärtigen vermag, die der Zuhörer selbst ausführen könnte.

Wenn sich im frühen Spracherwerb also typischerweise Zeige- und Lautgeste miteinander verknüpfen, würde sich auf diesem neuronalen Weg eine Kopplung zwischen dem gezeigten Objekt und dem zugehörigen Laut herstellen. Im Resultat vermag das zunächst nur begleitende Lautgebilde dann selbst das gemeinte Objekt bzw. den objektbezogenen Handlungsentwurf im Hörer evozieren. Damit tritt die gestikulierende Verweisung auf Objekte immer mehr in den Hintergrund – wie dies auch in der Entwicklung von Kleinkindern zu beobachten ist.

Im akustischen Medium löst sich das Wort vom Sprecher ab und wird von ihm selbst und dem Empfänger gemeinsam gehört. Die akustische Geste ist also nicht mehr subjektgebunden, sondern wird für beide Partner selbst zu einem Dritten, zu einem *intersubjektiven Symbol*. Darin sah bereits Mead (1973) das entscheidende Merkmal der Sprache: Das gesprochene Wort als „signifikante Geste“ wird dadurch zum Symbol, dass es im Sprecher grundsätzlich die gleiche Reaktion bzw. Vorstellung auslöst wie im Hörer. – Dies ließe sich auf neurobiologischer Ebene nun so nachvollziehen: Die Verständigung durch Worte hat

eine wesentliche Grundlage darin, dass das Wort in Sprecher und Hörer vermittelt des Spiegelsystems übereinstimmende neuronale Muster und damit Vorstellungen bzw. Handlungsentwürfe aktiviert. Die gleichsinnig gerichtete Intention beider Partner, die sich im Wort als intersubjektivem Symbol manifestiert, fände damit ihre Entsprechung in der Resonanz, die sich auf neuronaler Ebene zwischen ihnen bildet. Sprache, so lässt sich diese Konzeption zusammenfassen, stellt nicht nur eine geistige Verbindung zwischen Menschen her, sie bedient sich dazu auch eines biologisch verankerten *interpersonellen Resonanzsystems*.

### Resümee

Das Sprachvermögen entwickelt sich nicht naturwüchsig aus einer biologischen Anlage, sondern es bedarf wie kein anderes menschliches Vermögen der Einbettung in eine Sphäre gemeinsamer Sinnstrukturen und kommunikativer Praxis, um sich entfalten zu können. Sprachliche Bedeutungen existieren nur *zwischen* den Individuen, so wie bereits das Deuten mit dem Finger nur aus der gemeinsamen Richtung des Blickens seinen Sinn erhält. Worte sind die Träger der intersubjektiven Bedeutungen, die sich in einer Kultur herausgebildet, immer weiter differenziert und zu einem komplexen Verweisungssystem entfaltet haben. Um sie zu erlernen, müssen Kinder zuallererst in einem zwischenleiblichen, emotionalen und praktisch-handelnden Kontakt mit anderen stehen. Sie müssen weiter die Fähigkeit entwickeln, sich mit anderen auf das gleiche Objekt zu richten und diese Intention mit ihnen zu teilen. In diesen triadischen Situationen entwickeln sich die Zeige-, Darstellungs- und schließlich Lautgebärden, durch die wir uns symbolisch miteinander verständigen.

Wenn das Kind in der verkörperten Interaktion mit anderen ihre Sprache erlernt, dann fungiert sein Gehirn als Organ der Vermittlung, das die gehörten Worte mit neuronalen Mustern von Interaktions- und Objekterfahrungen koppelt. Diese Koppelung findet freilich nur statt, wenn das Kind die anderen als intentionale Akteure erlebt, die *ihm durch ihr Sprechen etwas zeigen wollen* und die sich dabei auf den intendierten Gegenstand richten. Kurz, es muss sich als Teilnehmer der Kommunikation wahrgenommen und *gemeint* erfahren. Nur dann – und nicht durch eine mechanisch-assoziative Verknüpfung – können sich die neuen Worte als neuronale Muster niederschlagen, die mit handelnden und interaktiven Erfahrungen verknüpft sind. Dass sich diese Verknüpfungen später als Koppelung von Sprachwahrnehmung und Motorik auch in Bildgebungsstudien des Gehirns nachweisen lassen, wie zu Beginn gezeigt, nimmt dann nicht mehr Wunder. Denn die Bedeutung von Worten bleibt immer gebunden an die handelnden, verkörperten und zugleich bedeutsamen Erfahrungen, in denen sie entstanden sind.

Damit wird das Gehirn freilich nicht als solches zum Ort von Bedeutungen oder zum „symbolverarbeitenden Organ“, wie es mitunter heißt. Die neuronalen Muster als Korrelate der Sprache sind nur *notwendige* Voraussetzung dafür, dass das Kind Worte als bedeutsam versteht und so an der gemeinsamen, durch Symbole vermittelten geistigen Welt partizipieren kann. Erst diese Teilnahme an der gemeinsamen symbolischen Welt ist die hinreichende Voraussetzung für den Spracherwerb. Das gilt für Geist und Bewusstsein überhaupt: Sie entstehen nur in einer übergreifenden und dynamischen Interaktion von Organismus, Gehirn und Umwelt. Kognitive Prozesse werden nicht in einem isolierten neuronalen Apparat produziert, der die Welt durch interne Repräsentationen in sich widerspiegelt. Sie überschreiten vielmehr fortwährend die Grenzen des Gehirns ebenso wie die des Körpers; und das gilt auch für die sprachgebundenen Kognitionen. Geistiges beruht auf *Bedeutungen*, und Bedeutungen beruhen auf *Beziehungen*. Sie leiten sich ab von der frühkindlichen Erfahrung der geteilten Aufmerksamkeit, des Zeigens, vom gemeinsamen Gebrauch der Sprache in praktischen Kontexten und von der intersubjektiven Symbolik der gesprochenen Worte. Korrelate dieser Bedeutungen werden dem Gehirn im Verlauf der Sozialisation als neuronale Muster funktionell und morphologisch eingeschrieben. Dadurch wird das Gehirn zu einem Organ des Geistes.

Doch bezieht sich Geistiges auf Informationen, die nicht nur in Form von neuronalen Korrelaten im Gehirn, sondern auch in den vielfältigen Strukturen der Umwelt bereitliegen: in den Strukturen des menschlichen Körpers, in menschlichen Beziehungen, in Sprache und Schrift, in kollektiven Mythen und Gebräuchen, in Kunst, Literatur oder Wissenschaft. Alle diese Erzeugnisse der Kultur sind nicht etwa vom Gehirn produzierte, sondern umgekehrt das Gehirn nutzende Phänomene. Menschen gebrauchen die Dinge ihrer Umwelt nicht nur als Objekte, sondern auch als Symbol- und Informationsträger. Sie erfinden Schrift, Bücher, Kalender oder Computer, um sie gleichsam als „Außengedächtnisse“ zu nutzen. Ja die Sprache selbst ist wohl das wichtigste Gedächtnis, das die Menschheit entwickelt hat. Aktualisiert wird dieses Gedächtnis in verkörperten, zwischenleiblichen Interaktionen; und in diesen wird auch das Gehirn zu einem Teil des übergreifenden Systems von kulturellen Bedeutungszusammenhängen – zu einem Beziehungsorgan.

### Literatur

BRUNER, J. (1983): *Child's talk*. Norton, New York; dt.: *Wie das Kind sprechen lernt*. Huber, Bern, 1987.

FUCHS, T. (2010): *Das Gehirn – ein Beziehungsorgan. Eine phänomenologisch-ökologische Konzeption*. 3. Aufl. Kohlhammer, Stuttgart.

- FUCHS, T. & H. DE JAEGER (2009): Enactive Intersubjectivity: Participatory sense-making and mutual incorporation. *Phenomenology and the Cognitive Sciences* **8**: 465–486.
- GALLESE, V. (2008): Mirror neurons and the social nature of language: The neural exploitation hypothesis. *Social Neuroscience* **3**: 317–333.
- JIRAK, D., M.M. MENZ, G. BUCCINO, A.M. BORGHI & F. BINKOFSKI (2010): Grasping language – a short story on embodiment. *Consciousness and Cognition* **19**: 711–20.
- KEYSERS, C., E. KOHLER, M.A. UMITÀ, L. NANETTI, L. FOGASSI & V. GALLESE (2003): Audiovisual mirror neurons and action recognition. *Experimental Brain Research* **153**: 628–636.
- KLUGE, F. (1989): *Etymologisches Wörterbuch der Deutschen Sprache*. 22. Aufl. De Gruyter, Berlin.
- KOELSCH, S. (2005) Ein neurokognitives Modell der Musikperzeption. *Musiktherapeutische Umschau* **26**: 365–381.
- KOELSCH, S., T. FRITZ, K. SCHULZE, D. ALSOP & G. SCHLAUG (2005): Adults and children processing music: An fMRI study. *Neuroimage* **25**: 1068–1076.
- KOHLER, E., C. KEYSERS, A. UMITÀ, L. FOGASSI, V. GALLESE & G. RIZZOLATTI (2002): Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science* **297**: 846–848.
- LAKOFF, G. & M. JOHNSON (1980): *Metaphors we live by*. University of Chicago Press, Chicago.
- LISZKOWSKI, U., M. CARPENTER, T. STRIANO & M. TOMASELLO (2006): 12- and 18-month-olds point to provide information for others. *Journal of Cognition and Development* **7**: 173–187.
- MEAD, G.H. (1973): *Geist, Identität und Gesellschaft*. Suhrkamp, Frankfurt.
- MELTZOFF, A.N. & M.K. MOORE (1977): Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science* **198**: 74–78.
- MERLEAU-PONTY, M. (2003): *Das Auge und der Geist. Philosophische Essays*. Meiner, Hamburg.
- PAPOUŠEK, H. & M. PAPOUŠEK (1995): Vorsprachliche Kommunikation: Anfänge, Formen, Störungen und psychotherapeutische Ansätze. In: PETZOLD, H.G. (Hrsg.) *Die Kraft liebevoller Blicke. Psychotherapie und Babyforschung Bd. II*. Junfermann, Paderborn, S. 123–142.
- PULVERMÜLLER, F. (2005): Brain mechanisms linking language and action. *Nature Rev. Neuroscience* **6**: 576–582.

RÜSCHEMEYER, S.-A., M. BRASS & A.D. FRIEDERICI (2007): Comprehending Prehending: Neural Correlates of Processing Verbs with Motor Stems. *Journal of Cognitive Neuroscience* **19**: 855–865.

STERN, D.N. (1998): *Die Lebenserfahrungen des Säuglings*. 6. Aufl. Klett-Cotta, Stuttgart.

TOMASELLO, M. (2002): *Die kulturelle Entwicklung des menschlichen Denkens. Zur Evolution der Kognition*. Suhrkamp, Frankfurt/M.

TOMASELLO, M. (2009): *Die Ursprünge der menschlichen Kommunikation*. Suhrkamp, Frankfurt/M.

TREVARTHEN, C. (1998): Language development: mechanisms in the brain. In: G. ADELMAN & B. SMITH (Hrsg.) *Encyclopedia of neuroscience*. 2. Aufl., S. 1018–1026). Elsevier, Amsterdam.

TREVARTHEN, C. (2001) The neurobiology of early communication: intersubjective regulations in human brain development. In: KALVERBOER, A.F. & A. GRAMSBERG (Hrsg.) *Handbook of brain and behaviour in human development*, 841–881. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

UMILTÀ, M.A., E. KOHLER, V. GALLESE, L. FOGASSI, L. FADIGA, C. KEYSERS & G. RIZZOLATTI (2001): I know what you are doing: a neurophysiological study. *Neuron* **31**: 155–165.

VYGOTSKY, L.S. (1978): *Mind in Society*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

WILLEMS, R.M., P. HAGOORT & D. CASASANTO (2010): Body-specific representations of action verbs. Neural evidence from right- and left-handers. *Psychological Science* **21**: 67–74.





# **FESTVERSAMMLUNG IM ALTSTADTRATHAUS**

PROF. DR.RER.NAT. DR.H.C. JOACHIM KLEIN

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

## **Begrüßung**

Meine sehr geehrten Damen und Herren,  
verehrte Gäste,  
hohe Festversammlung,

seien Sie alle herzlich willkommen zu unserer heutigen Festveranstaltung als dem Höhepunkt im Jahresprogramm unserer Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Zahl und Rang der Gäste, die heute hier versammelt sind, dürfen wir als ein Zeichen der Wertschätzung interpretieren, die unsere Gesellschaft in Stadt, Region und darüber hinaus genießt – und dafür sind wir sehr dankbar.

Mein erster besonderer Willkommensgruß gilt Ihnen, sehr verehrte Frau Ministerin Professorin Wanka. Als Neu-Braunschweigerin sind Sie im Niedersächsischen Landesministerium für Wissenschaft und Kultur zuständig, und so freue ich mich, dass Sie auch unserer Institution, die sich mit Sitz in Braunschweig der Entwicklung der Wissenschaft im niedersächsischen Rahmen verpflichtet fühlt, die Ehre Ihrer Anwesenheit zuteil werden lassen: Dies gibt mir auch die schöne Gelegenheit, Ihnen direkt und sehr herzlich für die stetige Förderung unserer BWG durch Ihr Haus zu danken. Ich danke Ihnen auch dafür, dass Sie ein Grußwort an unsere Gäste richten werden.

Im Mittelpunkt unserer Veranstaltung steht traditionell die Verleihung der Carl Friedrich Gauß-Medaille zur Auszeichnung für besondere wissenschaftliche Leistungen – in Erinnerung an den größten Sohn unserer Stadt. Nach unseren Statuten soll diese Verleihung am 30. April, dem Geburtstag von Gauß erfolgen – wir versuchen jeweils in die Nähe dieses Termins zu kommen und sind bei einem Freitag, dem 13., gelandet – möge er uns Glück bringen!

Ein besonderer Dank für die Gewährung der Gastfreundschaft in diesen historischen Räumen gilt unserer Stadt Braunschweig. Als deren Repräsentanten darf ich Frau Dr. Anja Hesse, in Vertretung des leider verhinderten Herrn Oberbürgermeisters Dr. Hoffmann, sehr herzlich begrüßen. Seit einem Jahr sind Sie, sehr verehrte Frau Dr. Hesse, Leiterin des Dezernats für Kultur und Wissenschaft, und ich weiß, dass Ihnen sehr daran liegt, den Rang der Wissenschaft in dieser Stadt nach Kräften zu fördern, nach dem Motto: Braunschweig war nicht nur

2007, sondern ist eine lebendige „Stadt der Wissenschaft“. Auch Ihnen danke ich für das Grußwort, das Sie im Namen der Stadt an uns richten werden.

Als Repräsentanten der Politik dieser Stadt darf ich auch als Ratsherrn und Vorsitzenden der SPD-Fraktion Herrn Manfred Pesditschek und Herrn Oberbürgermeister a.D. Werner Steffens herzlich begrüßen.

Besonders wertvoll ist uns die Anwesenheit von Vertretern auswärtiger Akademien der Wissenschaft, die damit ihre Verbundenheit im Kreis der Akademien bezeugen:

Für die Akademie in Heidelberg begrüße ich Herrn Altpräsident Professor Gisbert Freiherr zu Putlitz, für die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen Herrn Professor Eckart Altenmüller, für die Österreichische Akademie der Wissenschaften in Wien Herrn Altpräsidenten Professor Herbert Mang, Gaußmedaillenträger des Jahres 2007, und für die Hamburger Akademie der Wissenschaften Herrn Generalsekretär Dr. Jörg Maxton-Küchenmeister.

Das wissenschaftliche Programm dieses Tages steht thematisch im engen Zusammenhang mit der Widmung der Gaußmedaille 2011: Dem wissenschaftlichen Kolloquium dieses Vormittags haben wir die Überschrift „Gehirn und Sprache“ gegeben. Als Vortragende haben die Kollegen Hans Koch, PTB Berlin, Martin Korte, TU Braunschweig, Eckart Altenmüller, Hannover, und Thomas Fuchs, Heidelberg, unter der umsichtigen Moderation unseres Vizepräsidenten Klaus Gahl zum Erfolg des Kolloquiums beigetragen. Mit herzlichem Dank für dieses besondere Engagement begrüße ich Sie in unserer Mitte.

Im Gegensatz zu diesen Kollegen haben Sie, verehrte Frau Kollegin Pinie Zwitterlood, Ihre Aufgabe noch vor sich: Ich freue mich sehr, dass Sie aus Münster zu uns gekommen sind, und danke dafür, dass Sie unserer Einladung gefolgt sind, die Laudatio auf die Preisträgerin zu übernehmen.

Mit den hiesigen wissenschaftlichen Institutionen sind wir seit Jahren in der ForschungRegion Braunschweig eng verbunden, und so freue ich mich auch heute, zahlreiche Vertreter aus diesem Kreis begrüßen zu können:

Als Vertreter der TU Braunschweig die Herren Vizepräsidenten Martin Korte und Dietmar Smyrek sowie die Herren Prof. Joachim Block, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Prof. Ernst Göbel, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Prof. Ulrich Joger, Naturhistorisches Museum, Prof. Gerd Biegel, Institut für Braunschweigische Regionalgeschichte, und Prof. Erich Unglaub, Lesing-Akademie Wolfenbüttel.

Wissenschaft und Wirtschaft sind in der heutigen Welt in vielfacher Weise partnerschaftlich eng verbunden. Dies wird z.B. auch in der gemeinsamen Verantwortung für das „Haus der Wissenschaft“ – das nun endlich seine gläserne Kuppel erhalten hat – deutlich. So freue ich mich, als Vertreter der Wirtschaft Herrn

Prof. Bernd Meier als Hauptgeschäftsführer der Industrie- und Handelskammer Braunschweig heute begrüßen zu können.

Wir wissen es auch zu schätzen, welches Interesse die Medien unserer Arbeit wie auch dieser Veranstaltung entgegenbringen. Und daher begrüße ich Sie, verehrte Frau Schimmelpenning, als Leiterin des Braunschweig NDR-Studios sehr herzlich.

Auch ohne Namensnennung, aber deswegen nicht weniger herzlich, begrüße ich alle Anwesenden, die als Gäste aus Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Öffentlichkeit heute zu uns gekommen sind.

Schließlich begrüße ich herzlich alle Mitglieder unserer Gesellschaft und ihre Begleitung, insbesondere auch unsere neuen Mitglieder, sowie die Witwen unserer verstorbenen Mitglieder, die uns durch ihre Anwesenheit die bleibende Verbundenheit zur BWG zum Ausdruck bringen.

Seien Sie alle herzlich willkommen.

Nun darf ich Sie, verehrte Frau Ministerin Wanka, und Frau Dr. Hesse bitten, Ihre Grußworte an uns zu richten.

## **Bericht**

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

zu Beginn meines Berichts möchte ich Sie bitten, mit mir gemeinsam derjenigen Mitglieder zu gedenken, die der Tod im vergangenen Jahr aus unserer Mitte genommen hat.

## **Nachrufe**

Am 21.05.2010 verstarb Wilhelm Hofmann, Dr.-Ing., Prof. em. für Baukonstruktion und Entwerfen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Bauwissenschaften seit 1971; seit 1985 korrespondierendes Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften.

Am 28.05.2010 verstarb Koichi Tsujimura, Dr.phil., Prof. für Philosophie, Universität Kyoto/Japan. Korrespondierendes Mitglied in der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1983.

Am 11.07.2010 verstarb Johannes Zahlten, Dr.phil., Prof. für Kunstgeschichte, Hochschule für Bildende Künste, Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1997.

Am 08.09.2010 verstarb Hans-Joachim Kowalsky, Dr.rer.nat., Prof. em. für Mathematik, Technische Universität Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1968. Vorsitzender der Klasse von 01.01.1995 bis 31.12.1997.

Am 05.10.2010 verstarb Hermann Witting, Dr.rer.nat. Dr.rer.nat.h.c., Prof. em. für Mathematik, Universität Freiburg. Korrespondierendes Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1992.

Am 12.10.2010 verstarb Werner Deutsch, Dr.rer.nat., Prof. für Psychologie, TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 2001.

Am 14.02.2011 verstarb Franz Meier, Dr.phil., Prof. für Anglistische Literaturwissenschaft, TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Geisteswissenschaften seit 2009.

Wir werden allen Kollegen, die in unterschiedlicher Weise mit dem ganzen Profil ihrer Persönlichkeit die Arbeit der BWG geprägt haben, ein ehrendes Gedenken bewahren.

Ich danke Ihnen, dass Sie sich zu Ehren der Verstorbenen von Ihren Plätzen erhoben haben.

### **Zuwahlen und personeller Stand der BWG**

Mit dem Ziel der kontinuierlichen Entwicklung unserer Mitgliedschaft haben wir wiederum von dem Recht der Zuwahlen Gebrauch gemacht und dabei auch den Blick auf neue Wissenschaftsgebiete gelenkt.

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden in der Wahlsitzung vom **10.12.2010** gewählt:

#### **Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften**

- Dr. rer. nat. Dietmar **Schomburg**  
Professor für Chemie, Biochemie, Bioinformatik an der TU Braunschweig

#### **Klasse für Ingenieurwissenschaften**

- Dr.-Ing. Ernst **Gockenbach**  
Professor für Hochspannungstechnik an der Leibniz Universität Hannover
- Dr.-Ing. habil. Hansjörg **Kutterer**  
Professor für Geodäsie an der Leibniz Universität Hannover
- Dr.-Ing. Christian **Müller-Schloer**  
Professor für Informatik an der Leibniz Universität Hannover

**Klasse für Geisteswissenschaften**

- Dr. phil. (Geschichte) Brage **Bei der Wieden**  
Leiter des Staatsarchivs Wolfenbüttel, Niedersächsisches Landesarchiv
- Dr. phil. Ulrich **Menzel**  
Professor für Politikwissenschaft an der TU Braunschweig

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden in der Wahlsitzung vom **08.04.2011** gewählt:

**Klasse für Ingenieurwissenschaften**

- Dr. Karin **Wilhelm**  
Professorin für Geschichte und Theorie der Architektur und Stadt an der TU Braunschweig

**Klasse für Geisteswissenschaften**

- Dr. phil. Werner **Lehfeldt**  
Professor für Slawistik an der Universität Göttingen, Vizepräsident der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen

Damit gehören der BWG am 30.04.2011 an: 150 ordentliche Mitglieder, davon 80 unter 70 Jahren, sowie 66 korrespondierende Mitglieder.

Es gibt weiterhin zu berichten, dass wir uns nach intensiver Diskussion auf eine Revision unserer Satzung aus dem Jahr 1993 verständigt haben, die nun seit 21. Mai 2010 mit Genehmigung Ihres Hauses – Frau Ministerin – in Kraft ist.

Im Mittelpunkt der Überlegungen stand die Einführung einer neuen Leitungsstruktur, mit der auf gewachsenen Arbeitsumfang und veränderte Rahmenbedingungen reagiert werden soll.

Konkret bedeutet dies den Übergang von einer Leitungsstruktur mit zwei Personen (Präsident und Generalsekretär) zu einer mit drei Personen: Präsident und zwei Vizepräsidenten mit jeweiligem Aufgabengebiet.

Die auf dieser Basis durchgeführten Wahlen führten im Dezember 2010 zu folgendem Ergebnis:

Präsident Joachim Klein	(2011–2013)
Vizepräsident Klaus Gahl	(2011)
Vizepräsident Claus-Artur Scheier	(2011–2012)

Die Leitungsstruktur wird durch die Vorsitzenden der drei Klassen vervollständigt. Neben den weiter amtierenden Kollegen Thomas Hartmann, Klasse für

Mathematik und Naturwissenschaften, und Udo Peil, Klasse für Ingenieurwissenschaften, hat in der Leitung der Klasse für Geisteswissenschaften ein Wechsel stattgefunden, und Klaus Alpers wurde als Nachfolger von Hans-Joachim Behr gewählt.

### **Veranstaltungen**

Mit Blick auf die Aktivitäten, welche die BWG nach Innen und Außen entwickelt, möchte ich mich sehr kurz fassen, denn ich kann wieder darauf verweisen, dass nach intensiver redaktioneller und verlegerischer Vorarbeit der ausführliche Bericht im Jahrbuch 2010 frisch aus dem Druck zu diesem Tage vorliegt. Zu dieser Lektüre ist jedermann herzlich eingeladen.

Im Inneren steht der interdisziplinäre kollegiale Gedankenaustausch zu aktuellen Themen der Forschung unserer Mitglieder im Mittelpunkt. Die regelmäßigen Sitzungen der drei Klassen und des Plenums – nicht nur in Braunschweig, sondern auch in Hannover und Clausthal – bilden das Podium für Vortrag und Diskussion.

In immer stärkerem Maße sehen sich die wissenschaftlichen Akademien, so auch unsere BWG, zu einer Öffnung zur Außenwelt, zur Gesellschaft verpflichtet. Auf der Basis ihrer breiten Kompetenz tragen sie so zur öffentlichen Information und Diskussion wissenschaftlicher Fragestellungen bei. Dabei ist uns auch die organisatorische und inhaltliche Kooperation mit verschiedenen Partnern wichtig. Ein gutes Beispiel dafür ist die Kooperation mit dem Kulturinstitut der Stadt Braunschweig in der Veranstaltungsreihe

„Akademie-Vorlesung im Schloss“.

Ausgehend von einem Impuls aus der Gemeinsamkeit des Braunschweiger Erfolges als „Stadt der Wissenschaft“ und der räumlichen Chance eines attraktiven Vortragssaals – des Roten Saals – im rekonstruierten Braunschweiger Schloss laden wir nun im 4. Jahr zu dieser regelmäßigen Vortragsreihe ein – und freuen uns über die stetig gute Resonanz. Nach einer Serie 2010 zum Themenbereich „Wasser in Natur und Technik“ gehen wir nun den interessanten Fragen nach, die mit dem „Phänomen Zeit“ aus Sicht der Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaften verbunden sind.

An anderem Ort – nämlich in Wolfsburg – und mit anderen Partnern – dem phæno und der Göttinger Akademie der Wissenschaften – bieten wir Vortragsreihen an, die eine wissenschaftliche Reflexion und Erweiterung zu jeweils aktuellen Sonderausstellungen darstellen. Als Themenbeispiele seien „Das Element Wasser“ oder „Der Spiegel“ genannt.

Die Intensität unserer Kooperation mit der Göttinger Akademie – mit dem Ziel, aus den sich ergänzenden Kompetenzen einen Vorteil zu gewinnen – kam auch in einer gemeinsam geplanten und durchgeführten Ringvorlesung in Göttingen im WS 2010/2011 zur Wirkung. Unter dem Thema „Vom Nutzen des Nutzlosen – vom Spiel zum Produkt“ wurde der immer wieder kontrovers diskutierten Frage nachgegangen, wie weit ergebnisoffene Grundlagenforschung oder planbare Projektforschung die wirklich entscheidenden naturwissenschaftlich-technischen Innovationen hervorbringen.

Wir haben uns gefreut, dass wir Sie – Frau Ministerin Wanka – für den krönenden Abschlussvortrag gewinnen konnten.

Großen Wert legen wir auf unser langfristiges Engagement zu Fragen der Bioethik. Wo die exakte wissenschaftliche Analyse und Erkenntnis an Grenzen stößt und die persönliche Bewertung der Resultate bezüglich aller Konsequenzen für Mensch und Umwelt beginnt, ist die ethische Reflexion gefragt. Die aktuelle Energie-Diskussion ist dafür ein Beispiel.

Zu unserem 7. Bioethik-Symposium haben wir uns dem Thema „Medizin im Wandel – Individualisierte Medizin auf der Basis humangenetischer Diagnostik“ zugewandt und damit den Blick von der Vorjahrsfrage „Humangenetische Diagnostik – Wozu, wohin?“ auf ein aktuelles, jeden Einzelnen betreffendes Anwendungsgebiet gelenkt.

Abschließen möchte ich mit der Nennung der jährlich wiederkehrenden Veranstaltung am 6. Dezember im Braunschweigischen Landesmuseum, bei der mit der „Verleihung des Braunschweiger Bürgerpreises für herausragende studentische Leistungen“ die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Vordergrund steht. Die BWG trägt dazu mit der Einladung der Redner für den Festvortrag bei. Nachdem im Jahr 2010 die renommierte Göttinger Verhaltensforscherin Julia Fischer über „Die Entwicklung der Intelligenz beim Affen“ berichtet hat, freuen wir uns schon auf den Heidelberger Nobel-Preisträger Harald zur Hausen als Festredner am 6. Dezember 2011.

Wie bereits erwähnt, wird die Arbeit der BWG auch in Druck- und Internet-Form dokumentiert. Als regelmäßige Publikationen sind dies das Jahrbuch 2010 und Band 63 der Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, auf deren pünktliches Erscheinen zu unserer Festveranstaltung ich mit Freude und Dank an die Redaktion, unseren Vizepräsidenten Claus-Artur Scheier, und den Verlag, Frau Christina Jäcker, hinweisen kann.

So danke ich Allen, die in unterschiedlicher Weise und in unterschiedlichen Funktionen zum Erfolg unserer Arbeit beigetragen haben, nicht zuletzt unserer Geschäftsstelle, in der Frau Haubold und Frau Petersen wie stets engagierte und effiziente Arbeit geleistet haben.

Wenn wir nunmehr, meine sehr verehrten Damen und Herren, den Blick von der Vergangenheit auf die Gegenwart richten, so fällt er wieder einmal auf die Carl Friedrich Gauß-Medaille, deren Verleihung für das Jahr 2011 im Zentrum unserer heutigen Veranstaltung steht. Mit einem eindrucksvollen Kolloquium am heutigen Vormittag haben wir uns bereits intensiv mit dem Begriffspaar „Gehirn und Sprache“ auseinandersetzen können.

Dem Gehirn als zentralem Organ verdanken wir die Steuerung aller unserer mechanischen, bio-chemischen und kognitiven Prozesse und Fähigkeiten. Wie, warum und wo dies im Gehirn funktioniert, ist Thema intensivster experimenteller und theoretischer Forschung.

Auch die Bedeutung der Funktion „Sprache“ ist für das Menschsein offensichtlich: Sprache ist das Medium, das es dem Menschen erlaubt, seine Gedanken zu entwickeln und im Gedankenaustausch zu kommunizieren. Sprache ist Basis des sozialen Miteinander in Familie und Gesellschaft.

Sprache ist aber auch das zentrale Medium der Wissenschaft selbst. Dies ist für alle Geisteswissenschaften – die nur mit und durch Sprache existieren – evident, aber auch die formelreichen Bereiche der Mathematik, Chemie oder Ingenieurwissenschaften wären ohne das verbindende und erläuternde Wort sprachlos, d.h. nicht vermittelbar.

Sprache ist damit auch die entscheidende Voraussetzung für die Interdisziplinarität der Wissenschaften und die Möglichkeit, Wissenswelten zu verbinden.

Angesichts der Funktion, die dem Gehirn für das Erlernen, die Entwicklung und die so zentralen Sprachfähigkeiten des Menschen zukommt, wird auch die Bedeutung eines Forschungsbereiches „Gehirn und Sprache“ unzweifelhaft und klar vor Augen geführt. Es war unser Mitglied Werner Deutsch, der uns aus der Perspektive der Psychologie auf dieses aktuelle und interdisziplinäre Forschungsfeld hinwies. In einer von unserer Klasse für Naturwissenschaften geführten Diskussion fand sein Vorschlag fachübergreifend und schnell eine starke Unterstützung. Entscheidend dabei war, dass wir – wie es für die Verleihung der Gaußmedaille essentiell ist – dieses faszinierende Forschungsthema mit einer Persönlichkeit verbinden konnten, die auf diesem Gebiet im internationalen Vergleich hervorragende und Impuls setzende wissenschaftliche Leistung aufzuweisen hat:

Dies Junktim wurde mit dem Blick auf Ihr wissenschaftliches Werk, sehr verehrte Frau Friederici, im vollen Umfang mit Leben erfüllt, und so freuen wir uns heute, Ihnen die Gaußmedaille 2011 überreichen zu können. Wir danken Ihnen, dass Sie unserer Einladung zur Entgegennahme der Medaille am 13. Mai 2011 gefolgt sind – und zwar unter Hintanstellung einer weiteren Einladung aus Lütlich, um dort eine Ehrenpromotion entgegenzunehmen. Umso herzlicher ist aber unser Glückwunsch auch zu dieser besonderen Auszeichnung.



Die genauere Begründung und Würdigung Ihrer wissenschaftlichen Arbeit hat Frau Kollegin Zwitterlood aus Münster übernommen, wofür wir an dieser Stelle ausdrücklich und herzlich danken.

Wenn wir von Dank sprechen, wollen wir in diesem Rahmen auch nochmals an Werner Deutsch denken, der mit all seiner Begeisterung nach der Auswahlentscheidung begonnen hatte, den heutigen Festtag zu planen – was ihm im Rahmen der Realisierung dieser Pläne nicht mehr vergönnt war, gestalten wir nunmehr in seinem Angedenken.

Doch lassen wir zunächst noch einmal die Sprache der Musik auf uns wirken, für die wir mit Volker Link einen hervorragenden Interpreten, der auch mit Werner Deutsch eng verbunden war, gewinnen konnten.

Ich denke, dass wir mit den Klängen von Robert Schumann die Frage von Eckart Altenmüller vom Vormittag: „Ist Musik Sprache der Emotionen“ in die Aussage verwandeln können: Musik ist die Sprache der Emotionen...



## **Laudatio zur Verleihung der Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft an Prof. Dr. Angela D. Friederici**

PROF. DR. PIENIE ZWITSERLOOD

Institut für Psychologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Fliednerstraße 21, D-48149 Münster

Sehr geehrte Frau Ministerin,  
meine sehr verehrten Damen und Herren,  
liebe Angela,

es ist eine besondere Ehre und eine große Freude, heute die Laudatio zur Verleihung der Gauß-Medaille durch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft an Prof. Dr. Angela Friederici halten zu dürfen. Ich nehme an, dass nicht ich, sondern unser Kollege Werner Deutsch diese Laudatio hätte halten sollen. Ich hoffe, sie nehmen mit mir vorlieb, auch wenn ich unserem Freund Werner Deutsch hinsichtlich sprachlicher Eloquenz wohl nicht das Wasser reichen kann.

Ich möchte die Gelegenheit dieser Laudatio nutzen, Sie über den wissenschaftlichen Werdegang und die wissenschaftlichen Meriten von Angela Friederici zu informieren, und Ihnen dabei einige Highlights aus meiner persönlichen Sicht zu schildern.

Wie der Titel des heutigen Symposiums und des Festvortrags verrät, befasst Angela Friederici sich mit Sprache und Gehirn. Wie sie in ihrem Vortrag hier schildern wird, untersucht sie mit ihrer Gruppe am Max-Planck Institut in Leipzig, was Sprache ausmacht, wie Sprache funktioniert – wenn sie denn funktioniert – wie sie erworben wird und wie sie im Gehirn repräsentiert ist. Das Forschungsprogramm von Friederici umfasst eine enorme Bandbreite an Fragestellungen zur Neurokognition der Sprache, und sie untersucht diese Forschungsthemen mit den avanciertesten Methoden der Hirnforschung. Der wissenschaftliche Werdegang von Angela Friederici zeigt wie kein anderer, wie sich die experimentelle Erforschung unserer Sprachfähigkeiten und -fertigkeiten, welche sich erst seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts langsam etabliert hat, im Laufe der letzten 20 Jahre exponentiell entwickelt hat. Und dazu hat die Forschung von Angela Friederici maßgeblich beigetragen!

Um ihren Werdegang zu schildern und ihren Beitrag zu würdigen, möchte ich zusammen mit Ihnen einen kleinen Rückblick auf diese Entwicklung nehmen.

Die experimentelle Erforschung von Sprache, der Faktoren und Prozesse, die es uns erlauben, Sprache zu erwerben, zu verstehen und zu produzieren, hat keine lange Tradition vorzuweisen. Die sogenannte Psycholinguistik, welche die Erforschung von sprachlichem Wissen und der an Sprache beteiligten kognitiven Prozesse beinhaltet, ist eine junge Forschungsdisziplin – aber eine mit alten Wurzeln. Im Laufe der 1950er Jahre fingen Forscher wie George Miller und Roger Brown an, die Methoden der experimentellen Psychologie auf die Erforschung der Sprache anzuwenden. Diese junge Disziplin wurde von Einsichten der Philosophie, von den Einsichten und Beobachtungen der an Sprache interessierten Neurologen des 19ten Jahrhunderts wie Gall, Broca, Wernicke und Lichtheim, von Wissenschaftlern wie Wilhelm Wundt und William James, von der Gedächtnis- sowie der behavioristischen Lernforschung beeinflusst. Und vor allem wurde sie von der modernen Linguistik, mit Noam Chomsky als Leitfigur, geprägt. Erste Versuche, die psychologische Realität linguistischer Konzepte – wie zum Beispiel der grammatischen Tiefenstruktur von Sätzen – nachzuweisen, waren nicht sehr erfolgreich. Dafür war die theoretische Sichtweise, dass unser Gehirn die bei der Sprachverarbeitung beteiligten Prozesse und Informationen in „mental Modulen“ verarbeitet, von großem Erfolg gekrönt. Diese „modularity of mind“-Auffassung, wie sie von Jerry Fodor geprägt wurde, war Ende der 70er, Anfang der 80er Jahre die meistdiskutierte theoretische Sichtweise auf Sprache und Sprachverarbeitung.

Zu diesem Zeitpunkt der jungen Geschichte können wir nun die historische Rückschau verlassen und zu Angela Friederici zurückkehren. Sie hatte in den 70er Jahren in Bonn ihr Psychologiestudium abgeschlossen und fast nebenbei in der Linguistik promoviert, als sie 1978 als Post-Doc an das Massachusetts Institute of Technology – das berühmte MIT – und die Boston School of Medicine wechselte. Also in die Höhle des Löwen Chomsky und der dort vorherrschenden Modularitätsidee. Ich war in der Zeit nicht am MIT, aber es muss eine spannende und prägende Zeit gewesen sein. Meiner Auffassung nach ist das theoretische Denken von Angela Friederici nachhaltig von den damaligen Erfahrungen geprägt – ich komme darauf zurück.

In dieser Zeit fing Angela Frederici an, sich mit der Sprachverarbeitung sprachgestörter Menschen, die nach einem Schlaganfall oder Hirntrauma Teile ihrer Sprachfähigkeit verloren hatten, zu befassen – ein Thema, zu dem sie im Laufe der Zeit mit Kollegen wie Paul Schönle, Merrill Garrett, Liz Bates, und Herman Kolk zusammen veröffentlichte. In dieser Zeit fing sie ebenfalls an, sich tiefgehend mit der unterschiedlichen Verarbeitung von syntaktischen Informationen einerseits – also der Satzstruktur, der regelhaften Kombination von Wörtern im Satz – und von semantischen Informationen andererseits – also der Bedeutung der Wörter im Satz – auseinanderzusetzen. Sie erforschte diese Fragestellung sowohl bei gesunden als auch bei sprachgestörten, aphasischen Probanden. Man sieht bei diesen Fragestellungen den klaren Einfluss des Modularitätsgedanken.

Zurück in Europa ging Angela Friederici ans junge Max-Planck Institut für Psycholinguistik in Nijmegen, wo wir uns 1979 – vor unglaublichen 32 Jahren! – kennenlernten. Während der 10 Jahre, die sie am MPI in Nijmegen verbrachte, befasste sie sich weiterhin mit den gestörten Sprachprozessen bei Aphasikern und habilitierte sich 1986 in Psychologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen mit einer spannenden Monographie zum Thema. Friederici war eine der ersten, die experimentelle Forschungsparadigmen der Psycholinguistik, mit Messung der Reaktionszeit, einsetzte, um die Sprachverständisprozesse von Aphasikern in Echtzeit zu erfassen. Es gab damals keine PCs, die Experimente wurden von Computern gesteuert, die einen eigenen Raum füllten. Die Sprache wurde mithilfe riesiger Tonbandgeräte auf die Kopfhörer gespielt. Das „on-line“-Experimentieren war damals nicht einfach und selbstverständlich, und Angela Friederici wird sich sicherlich an den Aufwand erinnern, den wir treiben mussten, um das Sprachverstehen wirklich millisekundengenau zu erfassen. Es waren spannende Pionierzeiten, mit viel anstrengender Arbeit zu nächtlichen Stunden, aber auch mit Erholung und viel Lebensfreude. Während ihrer Zeit am Max-Planck-Institut in Nijmegen fing Friederici an, im sogenannten Babylabor das Sprachverständnis von Kleinkindern zu messen, bevor sie sprechen können. Diese bahnbrechende Forschung wurde damals weltweit an nur wenigen Instituten durchgeführt. In Zusammenarbeit mit dem früh verstorbenen Peter Jusczyk und mit Jeanine Wessels zeigte sie, wie Babys phonotaktische Regularitäten der Umgebungssprache entdecken und verwenden, um die komplexe und kontinuierliche Sprache ihrer Umgebung in sinnvolle Teile zu zerlegen.

Ende der 1980er Jahre waren die Pionierzeiten vorbei, an jedem Arbeitsplatz stand ein Computer, die ersten Labore zur Messung evozierter Hirnpotentiale wurden eingerichtet, und Angela Friederici verließ das MPI, weil sie einen Ruf an die FU Berlin auf eine Professur für Kognitionswissenschaft erhalten hatte. In 1991 wurde sie dann zur C4-Universitätsprofessorin für Allgemeine Psychologie an der FU ernannt. In Berlin fing auch Friederici an, mittels der Messung von elektrischen Hirnpotentialen an der Schädeloberfläche, der sog. EKPs, einen detaillierteren Einblick in die Dynamik der Sprachverarbeitung zu erlangen. Die ersten Experimente zur Sprachverarbeitung mittels EKPs wurden in den 80er Jahren in San Diego durchgeführt – von Marta Kutas und Steve Hillyard, die sich vor allem auf semantische Informationen konzentrierten. Die Beziehung zwischen Sprache und Gehirn hatte Angela Friederici natürlich vom Anfang an im Blick – man denke nur an ihre Forschung mit aphasischen Patienten –, aber mit dem Einzug der EKPs konnten erste Einblicke in die zeitliche Verarbeitung unterschiedlicher Informationsarten – syntaktischer, semantischer, prosodischer Information – gewonnen werden. Von erster Stunde an waren ihre Mitarbeiter Axel Mecklinger und Anja Hahne an dieser Forschung beteiligt.

Die Neurokognition der Sprache hatte also ihre Geburtsstunde und breitete sich wie ein Lauffeuer über die an Sprachverarbeitung interessierten Forschergruppen

aus. Die Gründung des Max-Planck-Instituts in Leipzig, ehemals für neuropsychologische Forschung, jetzt für Kognitions- und Neurowissenschaften, und die Tatsache, dass Angela Friederici Gründungsdirektorin dieses Instituts ist, hat die Erforschung der neurobiologischen Grundlagen für Sprache in all ihren Aspekten weltweit nachhaltig geprägt. Neben EEG und MEG, zwei Methoden mit hoher zeitauflösender Genauigkeit, setzt Friederici seit längerem bildgebende Verfahren wie die funktionelle Kernspintomografie ein, um die Verarbeitung unterschiedlicher sprachlicher Informationen, die an Sprache beteiligten Areale und die funktionale Konnektivität dieser Areale zu erfassen: das Netzwerk für Sprache im Gehirn.

Bevor ich für diese Forschung noch einige Details erwähne, möchte ich betonen, dass Angela Friederici sich außer mit Sprache mit einer Vielfalt an weiteren Themen befasst. Ich kann bei weitem nicht alle nennen, aber spannend sind zum Beispiel die Beiträge zur Musik, zur Struktur von Musik (ist sie der Struktur von Sprache ähnlich?), zum emotionalen Gehalt von Musik, und zur Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses bei Musikwahrnehmung. Hier sind auch ihre Kollegen und Mitarbeiter Mireille Besson, Stefan Kölsch, Burkhard Maess, Tom Gunter, Erich Schröger, Thomas Knösche und Stefan Zysset zu nennen. Auch setzen Friederici und ihre Mitarbeiter sich mit methodischen Aspekten der Bildgebung und der hoch zeitauflösenden Methoden auseinander und liefern somit wertvolle Beiträge für die Forschungsgemeinschaft.

Aber lassen Sie mich wieder auf die Sprache zurückkommen. Sie bildet den Kern der Arbeit von Angela Friederici, sie macht ihr Wesen aus, und ist mit ihr und ihrem Werdegang eng verwachsen. Ich erwähnte schon, dass Sprache ein facettenreiches Bouquet an Informationen enthält, die für unterschiedliche Sprachfunktionen und Prozesse wichtig sind. Ich nannte die Syntax, die Struktur der Äußerung, die es uns erlaubt, zu erfassen „WER WANN WAS mit WEM macht“. Die Semantik liefert die Bedeutung dazu und füllt das WER WANN WAS WEM mit Leben. Wichtig sind zudem Phonologie und Morphologie – aus welchen Lauten und bedeutungsvollen Wortteilen sind die Wörter zusammengestellt? – sowie Prosodie oder Satzmelodie. Diese ist für die Auflösung von syntaktischen Mehrdeutigkeiten, für die Spezifizierung von schon Erwähntem und Neuem im sprachlichen Diskurs, aber auch für die Vermittlung von Emotionen wichtig. Mit Kai Alter, Karsten Steinhauer und Sonja Kotz hat Angela Friederici eine Fülle von neuen, spannenden Befunden zur Rolle von Prosodie veröffentlicht. Aber durch alle Informationsarten hindurch ist und bleibt das Leitmotiv der Forschung von Friederici die Frage nach der Unabhängigkeit der an Sprache beteiligten Prozesse – also die Frage nach ihrer Modularität.

An deutlichsten zeigt sich die Überzeugung, dass es für bestimmte Informationen zweckbestimmte Verarbeitungsprozesse gibt, die auf jeden Fall *anfänglich* weitestgehend unabhängig von anderen Informationen ihre Analyse des Sprachinputs durchführen, im von Friederici entwickelten Modell der Verarbeitung

syntaktischer Informationen. In diesem Modell wird Sprache mit Priorität hinsichtlich der Struktur, also der Syntax, verarbeitet. Erst danach kann die Bedeutung der Wörter zum allgemeinen Verständnis – und, wo notwendig, zur syntaktischen Reanalyse – beitragen, wenn die erste Analyse keinen Sinn ergibt. Evidenz für diese „syntax first“-Hypothese wurde mit Hilfe einer sehr frühen Komponente im EEG, der sogenannten ELAN, gefunden. Stellen Sie es sich wie einen Schluckauf des Gehirns vor, wenn die Neuronenpopulationen, welche die syntaktische Struktur der Äußerung verarbeiten, sich gerade mit einem fehlerhaften Satz wie *„Er hatte Anna im gesprochen“* auseinandersetzen müssen. Da stimmt etwas nicht, da fehlt etwas, zum Biespiel *„Er hatte Anna im Cafe gesprochen“*. Diese und viele anderen Ergebnisse führten zur Formulierung von Friedericis sehr einflussreicher Theorie der syntaktischen Sprachverarbeitung.

Nichts ist so wichtig für die Wissenschaft wie eine gute Theorie. Was eine gute Theorie ausmacht ist Präzision, Klarheit, Konsistenz und – Falsifizierbarkeit. Gute Theorien erlauben nicht-triviale, falsifizierbare Hypothesen. Und genau diese Eigenschaften hat die Theorie der syntaktischen Verarbeitung von Friederici. Sie wird und wurde gelobt, geglaubt, aber auch mit Argwohn betrachtet und unter Beschuss genommen. Genau so soll es sein – eine gute Theorie liefert den Kollegen vieles, an dem sie sich die Zähne ausbeißen können. Sie soll zu wissenschaftlichen Hochleistungen auffordern. Diesen wichtigen Prüfstein wissenschaftlicher Exzellenz – die Formulierung einer guten Theorie – hat Angela Friederici souverän gemeistert.

Ein weiterer Maßstab für wissenschaftliche Güte ist die Fähigkeit zu erfolgreicher Kooperation. Friederici arbeitete und arbeitet mit renommierten Kolleginnen und Kollegen aus dem In- und Ausland zusammen, zum Beispiel mit Merrill Garrett, eine Verbindung und Freundschaft, die auf ihre Post-Doc Zeit am MIT zurückgeht, mit Lyn Frazier, mit der sie schon früh zu Problemen der syntaktischen Verarbeitung bei Aphasikern veröffentlichte und deren Werke ihr als Inspiration für ihre Theorie der syntaktischen Präzedenz gedient haben, mit Frank Rösler, der bei den ersten Schritten zur EEG-Messung dabei war, mit Mireille Besson, mit der sie zur Musik geforscht hat. Nennen möchte ich auch Jürgen Weissenborn und Peter Jusczyk, die sie in ihrer Forschung zum Spracherwerb begleitet haben. Wenn man ganz weit in ihrer Vita zurückgeht, finden sich gemeinsame Publikationen mit Pim Levelt, mit dem sie zu Anfang der Nijmegener Zeit zum kognitiven Funktionieren unter Schwerelosigkeit, vor allem zur räumlichen Orientierung, geforscht hat. Der Rahmen bildete die Challenger D1-Mission. An dieser Forschung war auch der deutsche Astronaut Reinhard Furrer beteiligt – ein weiteres Beispiel für das breite Interessenspektrum von Angela Friederici.

Als letzten wichtigen Standard, an der die Exzellenz einer Forscherpersönlichkeit gemessen wird, möchte ich den wissenschaftlichen Nachwuchs nennen. Die Liste derjenigen, die sie bislang auf ihren Pfaden in die Wissenschaft aktiv beglei-

tet und unterstützt hat, ist lang. Ohne jeglichen Anspruch auf Vollständigkeit nenne ich Axel Mecklinger, Herbert Schriefers, Karsten Steinhauer, Christian Fiebach, Stefan Koelsch, Ricarda Schubotz, Ina Bornkessel-Schlesewski, und Sonja Kotz, die alle mittlerweile eine Professur innehaben, sowie Anja Hahne, Tom Gunter, Kai Alter, Burkhard Maess, Stefan Heim, Manuela Friedrich, Claudia Friedrich, Thomas Knösche und Regine Oberecker. Diese Forscherinnen und Forscher, viele mittlerweile Kollegen, hat Angela Friederici mit ihrem großen Interesse und Enthusiasmus für eine breite Palette von Fragestellungen zu den neurobiologischen Grundlagen von Sprache, zu Sprachstörungen und Spracherwerb, zu Musik und vielem mehr begeistert. Sie hat sie, mit gutem Beispiel vorangehend, zur tiefgehenden, oft anstrengenden Auseinandersetzung angespornt, zur methodischen Sorgfalt erzogen, und ihnen die internationalen Standards für Güte und Erfolg vermittelt. Dabei ist und war sie fordernd, aber gleichzeitig fördernd. Ihr Nachwuchs wird es ihr danken.

Nach allen Kriterien und Standards ist Angela Friederici eine außerordentliche, kreative, weitsichtige und inspirierende Forscherpersönlichkeit. Dass sie bei aller Last auf schmalen Schultern eine nette Kollegin und ein überaus angenehmer Mensch geblieben ist, ist nicht selbstverständlich. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat zu ihrer Liste von illustren Preisträgern einen Edelstein hinzugefügt. Ich beglückwünsche die Gesellschaft zu ihrer vorzüglichen Wahl und dich, Angela, zu dieser hohen Auszeichnung.

Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit.



## Wie Sprache im Gehirn entsteht\*

ANGELA D. FRIEDERICI

Max-Planck-Institut für Kognitions- u. Neurowissenschaften  
Stephanstraße 1, D-04103 Leipzig

Der Mensch unterscheidet sich von anderen Spezies vor allem durch seine Sprachfähigkeit. Zwar können andere Spezies auf mannigfaltige Weise miteinander kommunizieren, jedoch vermögen sie nicht, Sprache zu erwerben und zu verwenden.

Um diese Aussage zu belegen, muss zunächst definiert werden, was mit Sprache gemeint ist. Sprache ist ein komplexes System, das aus einer Reihe von verschiedenen Komponenten besteht, ohne deren Zusammenspiel die Produktion und das Verstehen von Sätzen und Nebensätzen nicht möglich sind. Zu diesen Komponenten gehören zum einen die Sprachlaute (Phonologie) und die Wörter (Lexikon) einer Sprache, zum anderen aber – als wichtigste Komponente einer Sprache – die Grammatik (Syntax). Alle Sprachen der Welt verfügen über diese Komponenten, auch wenn sie jeweils unterschiedlich realisiert sind. Vor allem variieren die Wörter von Sprache zu Sprache. Darüber hinaus unterscheiden sich die verschiedenen Sprachen der Welt auch bezüglich ihrer Grammatik, was uns das Lernen einer Fremdsprache im Erwachsenenalter oft schwer macht.

Es ist faszinierend zu sehen, dass jedes Kind, in welche Sprachumgebung auch immer geboren, in der Lage ist, diese Sprache mühelos zu erlernen. Darüber hinaus ist interessant zu sehen, dass die Entwicklungsverläufe des Spracherwerbs in allen Sprachen der Welt gleich ablaufen: von der Schreiphase über die Lallphase zur ersten Wortproduktion und von da aus über die Phase der Zwei-Wort-Sätze hin zu komplexeren Satzstrukturen und Nebensatzkonstruktionen. Dies gilt erstaunlicherweise auch für Kinder, die taub bzw. gehörlos geboren wurden, solange sie eine Gebärdensprache als „muttersprachlichen“ Input be-

---

\* [Originalveröffentlichung: Friederici, A.D. (2011). Den Bär schubst der Tiger – Wie Sprache im Gehirn entsteht. In T. Bonhoeffer, & P. Gruss (Hrg.), Zukunft Gehirn (pp. 106–120). Munich, Germany: C.H.Beck.]

Der Vortrag wurde gehalten am 13.05.2011 anlässlich der Verleihung der Gauß-Medaille durch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft.

kommen. Gehörlose Kinder durchlaufen die gleichen Entwicklungsphasen wie hörende Kinder und fangen bereits in der Lallphase an, ihre Hände als Ausdrucksmittel zu verwenden.

Diese Beobachtungen legen nahe, dass kindlicher Spracherwerb einem biologischen Programm folgt, welches, sofern das Kind Sprachinput bekommt, automatisch abläuft. Ist Sprachinput nicht gegeben, wie zum Beispiel bei dem berühmten Fall Kaspar Hauser, entwickelt sich die volle Sprachfähigkeit nicht.<sup>1</sup> Ähnlich wie bei der Entwicklung des visuellen Systems ist die Ausdifferenzierung des Sprachsystems auf Input angewiesen und richtet sich auf die jeweilige Sprache aus, die es als Input bekommt.

Sofern Sprache also einem biologisch vorgegebenen Programm folgt, liegt die Frage nach den biologischen Grundlagen nahe. In den vergangenen Jahren haben eine Reihe von Studien versucht, den genetischen Grundlagen der Sprache auf die Spur zu kommen. Diese Studien liefern erste Hinweise darauf, dass genetische Variationen deutliche Effekte auf die Gehirnentwicklung haben, insbesondere auch auf Hirnregionen, von denen wir wissen, dass sie für die Sprachverarbeitung relevant sind.<sup>2</sup>

### **Neuronale Grundlagen der Sprache beim Erwachsenen**

Dass die Sprachfähigkeit vom Intaktsein des Gehirns abhängt, wissen wir seit den ersten Berichten von Patienten mit Sprachstörungen, bei denen Hirnschädigungen durch Schlaganfall nachgewiesen wurden.<sup>3</sup> Seit gut zehn Jahren erlaubt uns die Technik der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), die Hirnaktivierung als Antwort auf einen bestimmten Input und den dadurch ausgelösten Verarbeitungsprozess zu messen. Auf diese Weise kann ermittelt werden, welche Hirnregionen für die Verarbeitung von phonetischer, semantisch-lexikalischer, syntaktischer und prosodischer Information zuständig sind und ob dies für alle Sprachen gleich ist.

Untersuchungen zur Sprachverarbeitung mithilfe der fMRT wurden für so unterschiedliche Sprachen wie das Englische, Japanische, Deutsche, Italienische, Hebräische, Niederländische, Französische und Thailändische durchgeführt.<sup>4</sup>

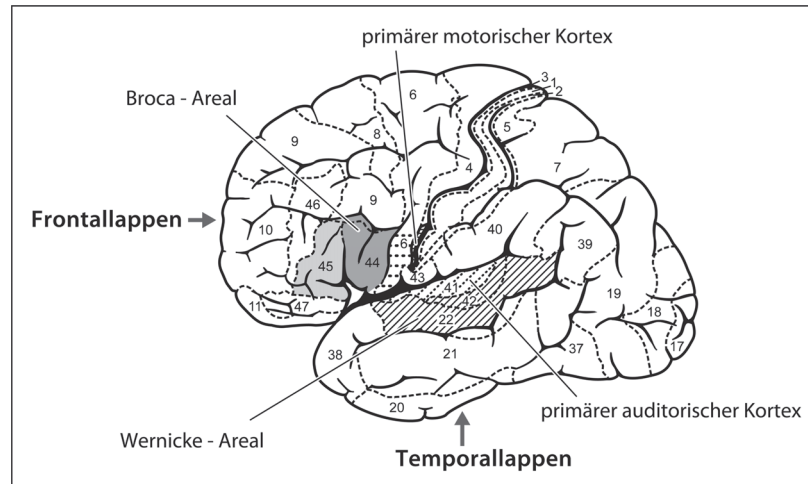
---

<sup>1</sup> Für einen jüngeren gut dokumentierten Fall dieser Art siehe auch Curtiss, S. (1977): *Genie: A psycholinguistic study of a modern day „wild child“*. New York: Academic Press.

<sup>2</sup> Für Reviews siehe Fisher & Marcus, 2006; Vargha-Khadem et al., 2005.

<sup>3</sup> Broca, 1865; Wernicke, 1874.

<sup>4</sup> Siehe Bookheimer, 2002; Vigneau et al., 2006.



Quelle: bearbeitet nach Brodmann, 1909

Abb. 1: Klassische Sprachzentren in der linken Hemisphäre. Nummern markieren zytoarchitektonisch unterschiedliche Areale nach Brodmann (1909). Brodmann-Areale (BA) 44 und 45 bilden das Broca-Areal, das im inferioren Teil des Frontallappens (im inferioren frontalen Gyrus, IFG) gelegen ist. BA 42 und 22 gelten als das Wernicke-Areal, das im oberen Anteil des Temporallappens (im superioren temporalen Gyrus, STG) gelegen ist.

Obwohl bei diesen Untersuchungen unterschiedliches Sprachmaterial zur Anwendung kam und verschiedene Aufgabenstellungen verwendet wurden, konnten für die einzelnen Sprachen jeweils gleichartige zerebrale Aktivierungsmuster beobachtet werden. Generell werden semantische und syntaktische Aspekte der Sprachverarbeitung von neuronalen Netzwerken verarbeitet, die jeweils links frontale und temporale Hirnregionen involvieren. Die Verarbeitung syntaktischer Information wird vom sogenannten Broca-Areal und dem anterioren sowie posterioren Anteil des superioren Gyrus temporalis (STG) unterstützt. Semantische Prozesse basieren auf einem Netzwerk, welches sowohl den mittleren und den superioren Temporallappen als auch den inferioren Frontalgyrus, speziell die Brodmann Areale (BA) 45 und 47, einbindet (siehe Abb. 1). Es konnte gezeigt werden, dass die BA 45 und 47 sowohl die Verarbeitung semantischer Relationen im Satz unterstützen als auch die Integration von Weltwissen vermitteln, welches im Langzeitgedächtnis repräsentiert ist.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Hagoort et al. 2004.

### Syntax im erwachsenen Gehirn

Das Broca-Areal, so wird angenommen, ist zuständig für Syntaxoperationen in allen natürlichen Sprachen<sup>6</sup> und ist entscheidend für die Verarbeitung von Syntaxoperationen, die erforderlich sind, um syntaktisch komplexe Sätze zu verstehen.<sup>7</sup>

Was heißt nun „komplex“, und wie kann man überprüfen, ob das Broca-Areal zuständig ist für die Verarbeitung von syntaktisch komplexen Sätzen? Das Deutsche erlaubt es mit seinen syntaktischen Möglichkeiten recht gut, diesen Punkt zu überprüfen, indem man die syntaktische Komplexität der Sätze systematisch erhöht. Man kann den Versuchspersonen kanonische Sätze präsentieren, also Sätze mit einer einfachen Ordnung der Nominalphrasen: Subjekt – indirektes Objekt – direktes Objekt (niedrige Komplexität, siehe Satz (1)). Man kann die Konstruktion aber etwas schwieriger gestalten, indem man das indirekte Objekt in die erste Position des Satzes bringt: indirektes Objekt – Subjekt – direktes Objekt (mittlere Komplexität, siehe Satz (2)) und noch schwieriger dadurch, dass man nicht nur das indirekte, sondern auch das direkte Objekt vor das Subjekt setzt: indirektes Objekt – direktes Objekt – Subjekt (hohe Komplexität, siehe Satz (3)):

- (1) *Heute hat der Vater dem Jungen den Lutscher geschenkt.*
- (2) *Heute hat dem Jungen der Vater den Lutscher geschenkt.*
- (3) *Heute hat dem Jungen den Lutscher der Vater geschenkt.*

In einer Beurteilungsaufgabe wird zwar der Satz (1) als „besser“ gewertet als die anderen Optionen, aber alle drei Varianten werden vom deutschen Muttersprachler als grammatisch korrekt beurteilt. Während des Sprachverstehensprozesses erzeugen die verschiedenen Sätze im Broca-Areal unterschiedlich starke Aktivierungen (siehe Abb. 2).

Die Aktivierung ist für den Satz (1) am geringsten und für den Satz (3), in dem Objekte nach vorne gebracht wurden, am höchsten. Die Ergebnisse dieses Experiments zeigen, dass das Broca-Areal systematisch als Funktion von syntaktischer Komplexität variiert und belegen mithin seine Bedeutung für die Verarbeitung syntaktischer Information.<sup>8</sup>

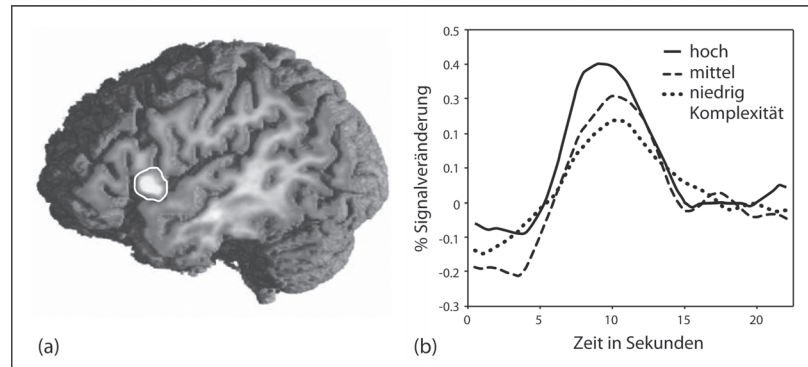
Die Verarbeitung syntaktisch komplexer Sätze aktiviert zusätzlich immer auch den posterioren Anteil des STG/STS<sup>9</sup>, nicht aber, wenn die Sätze keine seman-

<sup>6</sup> Im Gegensatz zu unnatürlichen Strukturen; Musso et al., 2003.

<sup>7</sup> Grodzinsky, 2000; Friederici et al., 2006b.

<sup>8</sup> Friederici et al., 2006b.

<sup>9</sup> Roeder et al., 2002; Bornkessel et al., 2005; Caplan et al., 2008; Friederici et al., 2009; Snijders et al., 2009.



Quelle: Friederici et al., Cerebral Cortex, 2006

Abb. 2: Broca-Areal und syntaktische Komplexität. Aktivierung im Broca-Areal für niedrig-, mittel- und hochkomplexe Sätze. (a) Aktivierungsort: Broca-Areal; (b) Aktivierungsstärke über die Zeit als Funktion der syntaktischen Komplexität der Sätze. Vergleiche Sätze (1) bis (3) im Text.

tische Information tragen oder Sequenzen nur nach syntaktischen Hierarchieregeln gebildet sind. Dies legt die Vermutung nahe, dass der posteriore Anteil des STG/STS bei der Integration von semantischer und syntaktischer Integration eine Rolle spielt bzw. ins Spiel kommt, wenn die Festlegung der semantischen und thematischen Relationen im Satz (wer tut wem was) schwierig und semantische Kombinatorik notwendig ist.<sup>10</sup>

### Satzmelodie und Syntax

Bei der Verarbeitung von gesprochenen Sätzen ist darüber hinaus die Satzmelodie, die sogenannte suprasegmentale prosodische Information, relevant, denn sie spiegelt zum Teil die zugrunde liegende syntaktische Struktur wider.

In den folgenden Beispielen ist die Prosodie des Satzes durch das Komma angegeben:

(4) „Der Mann sagt, die Frau kann nicht Auto fahren.“

(5) „Der Mann, sagt die Frau, kann nicht Auto fahren.“

Satz (4) und Satz (5) bedeuten etwas Unterschiedliches. In Satz (4) kann die Frau nicht Auto fahren, in Satz (5) ist es der Mann, der nicht Auto fahren kann.

<sup>10</sup> Snijders et al., 2009; Grewe et al., 2005; Rogalsky & Hickok, 2009.

Die Prosodie gibt in den beiden Sätzen jeweils an, wer etwas sagt und ist somit für das Verstehen des Satzes ausschlaggebend.

Das Gehirn reagiert auf die prosodische Veränderung an der Phrasengrenze (im Schriftsprachlichen markiert durch das Komma) mit einer spezifischen Hirnreaktion im ereigniskorrelierten Hirnpotential, das mittels der Elektroenzephalographie (EEG) erstmals gemessen werden konnte.<sup>11</sup> Für den normal gesprochenen Satz, der neben der Satzmelodie auch syntaktische und semantische Information enthält, sind beim Verstehen die linke und die rechte Hemisphäre involviert.<sup>12</sup> Die Verarbeitung der Satzmelodie alleine wird vornehmlich von der rechten Hemisphäre geleistet.<sup>13</sup>

Es konnte gezeigt werden, dass während des normalen Sprachverstehens linke Hemisphäre und rechte Hemisphäre bei der Verarbeitung von syntaktischer und prosodischer Information zeitnah miteinander interagieren. Diese Interaktion wird durch eine Hirnstruktur sichergestellt, die die beiden Hemisphären miteinander verbindet, den sogenannten Balken (Corpus Callosum). Es ist der hintere Anteil des Balkens, der die Temporallappen der linken und rechten Hemisphäre miteinander verbindet und das Zusammenspiel von Syntax und Prosodie während der akustischen Sprachverarbeitung sicherstellt.<sup>14</sup>

Normales Sprachverstehen setzt eine zeitliche Feinabstimmung der Hirnaktivitäten in verschiedenen Arealen der linken und rechten Hemisphäre voraus. Ist eine der Hirnregionen durch eine Erkrankung geschädigt oder führt eine Hirnerkrankung zu einer zeitlichen Verzögerung einzelner Prozesse, so kann normales Sprachverstehen oder auch das Produzieren kohärenter Äußerungen nicht mehr stattfinden. Häufig wird uns das Wunder der menschlichen Sprachfähigkeit erst bewusst, wenn Sprache nach Schlaganfall oder anderen Erkrankungen nicht mehr normal funktionieren.

### **Form oder Funktion: Was bestimmt die Hirnaktivierung?**

Wenn wir nach den biologischen Grundlagen der menschlichen Sprachfähigkeit fragen, steht eine Frage häufig im Vordergrund. Gilt die funktionelle Bestimmung von bestimmten Hirnarealen im Sprachverarbeitungsprozess eigentlich über die verschiedenen Sprachen hinweg? Ist ein bestimmtes Hirnareal immer

---

<sup>11</sup> Steinhauer et al., 1999.

<sup>12</sup> Pannekamp et al., 2005.

<sup>13</sup> Meyer et al., 2004; 2006.

<sup>14</sup> Eckstein & Friederici, 2006; Friederici et al., 2007.

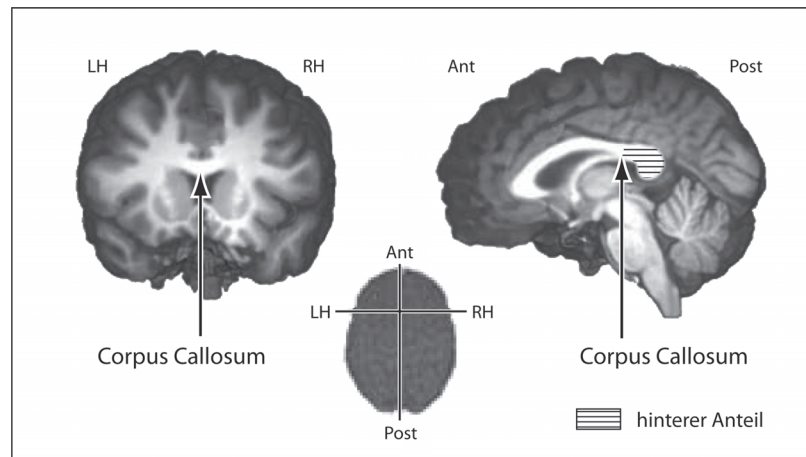


Abb. 3: Das Corpus Callosum. Links: Coronaler Schnitt zeigt die Verbindung zwischen linker Hemisphäre (LH) und rechter Hemisphäre (RH). Rechts: Sagittaler Schnitt zeigt die Lage des Corpus Callosum von anterior (Ant) nach posterior (Post). Unten Mitte: Angabe der Schnittführung; coronaler Schnitt quer von LH nach RH, sagittaler Schnitt längs von vorne (anterior) nach hinten (posterior).

für die gleiche Funktion zuständig, auch wenn diese in unterschiedlichen Sprachen unterschiedlich markiert ist? Das Englische markiert die grammatikalische Funktion (Subjekt, Objekt), zum Beispiel, durch die Wortfolge, wohingegen das Deutsche sie durch den Kasus (Nominativ, Akkusativ) markieren kann (siehe Sätze (1) bis (3)). Daten belegen, dass die Sprecher beider Sprachen zur Analyse dieser syntaktischen Funktion das gleiche grundlegende neuronale Netzwerk in der linken Hemisphäre benutzen. Ein extremeres Beispiel betrifft das Thai, das lexikalisch-semantische Unterschiede durch die Tonhöhe (hoch-niedrig im Gegensatz zu niedrig-hoch) markiert. Dieser Fall ist insofern von besonderer Bedeutung, als prosodische Information auf der Satzebene (Tonhöhenverlauf) vorwiegend in der rechten Hemisphäre aktiviert, wohingegen lexikalische-semantische Information in der linken Hemisphäre verarbeitet wird.<sup>15</sup> Falls die Kodierung der Information (Tonhöhe) über die Aktivierung bestimmter Gehirnbereiche entscheidet, liegt es nahe, deutliche Unterschiede zwischen Thai und anderen Sprachen zu erwarten. Werden die zerebralen Aktivierungsmuster hingegen durch die linguistische Funktion (in diesem Fall lexikalisch-semantische Funktion) bestimmt, würde man erwarten, dass diesbezüglich kei-

<sup>15</sup> Über entsprechende Studien informiert Friederici & Alter, 2004.

ne Unterschiede zwischen den Sprachen bestehen, unabhängig davon, in welcher Form sie kodiert wird. Brain-Imaging-Studien, die mit Thai-Muttersprachlern durchgeführt wurden,<sup>16</sup> zeigen, dass Tonhöhenunterschiede dann in der linken Hemisphäre verarbeitet werden, wenn sie lexikalisch-semantische Information enkodieren. Demnach ist offenbar nicht die Form der Information (Tonhöhe) ausschlaggebend dafür, in welcher Hemisphäre Areale aktiviert werden, sondern darüber entscheidet die linguistische Funktion (hier semantisch-lexikalisch).

Weitere Belege für die biologisch bedingte, funktionelle Vorbestimmtheit neuronaler Strukturen für die Sprachverarbeitung liefern Studien, die sich mit Gebärdensprachen beschäftigen. Sie liefern insofern wertvolle Erkenntnisse bezüglich der menschlichen Sprache, als es sich bei der Gebärdensprache um eine natürliche Sprache handelt, die über eine Phonologie, ein Lexikon und eine Syntax verfügt, aber von auditorischer Information völlig unabhängig ist. Trotz der eindeutig unterschiedlichen Input-Modalitäten, die zur Enkodierung von gesprochenen Sprachen und Gebärdensprachen benutzt werden, erfolgt die Verarbeitung der zentralen sprachlichen Funktionen in beiden Fällen in den gleichen Gehirnarealen.<sup>17</sup> Sprachliche Funktionen sind also generell in bestimmten Gehirnarealen verankert.

### **Sprache und Gehirn in der Entwicklung**

Das Wunder der menschlichen Sprachfähigkeit wird vor allem deutlich, wenn wir uns vor Augen führen, dass Kinder jede Sprache der Welt ohne ein spezielles Lehrprogramm lernen. Sie lernen Sprache, indem sie phonologische Regelmäßigkeiten und positionale Regelmäßigkeiten (wo steht was) im Sprachinput erfassen. Kleinkinder sind im ersten halben Lebensjahr darauf aus, in dem Gehörten Regeln zu erkennen. Sie zeigen bereits die Fähigkeit, über die bloße Auftretenswahrscheinlichkeit einzelner Elemente (Wörter und Flexionsendungen) in einer Sprachfolge Regeln zu abstrahieren.<sup>18</sup> Mit dieser Fähigkeit ist die Grundlage für den Erwerb syntaktischer Regeln in der Muttersprache schon teilweise gelegt. Parallel zum Herausfiltern syntaktischer Regeln müssen Kinder lernen, dass gewisse Elemente im Sprachfluss Bedeutungen tragen, die sich auf Objekte und Handlungen in der sie umgebenden Welt beziehen. Da die Beziehungen zwischen Wörtern und Objekten sowie zwischen Wörtern und Handlungen willkürlich sind – wie die verschiedenen Sprachen beweisen –, ist

---

<sup>16</sup> Gandour et al., 2000.

<sup>17</sup> Corina & McBurney, 2001; Hickok, Kirk & Bellugi, 1998.

<sup>18</sup> Siehe den Übersichtartikel von Gomez & Gerken, 2000.



das keine leichte Aufgabe. Man stelle sich folgende Szene vor: Die Mutter geht mit dem Kind auf dem Arm durch den Garten und sieht auf dem Rasen einen Hasen sitzen. Sie sagt: „Schau mal, ein Hase.“ Das Kind aber sieht den Rasen, die Blumen, die Sträucher, woher soll es wissen, welches Ding die Mutter gerade benannt hat? Nun, den Kindern helfen hier eine Reihe von Hinweisen: sowohl außersprachliche wie Deuten und Blicken in Richtung des benannten Objektes oder der Handlung als auch innersprachliche Hinweise, mit anderen Worten funktionale syntaktische Kategorien wie Funktionswörter und Morphologie. So haben Studien gezeigt, dass soziale Hinweise wie Zeigen oder Blickrichtung das Lernen von Objektnamen erleichtern.<sup>19</sup> Funktionale Kategorien können dabei helfen herauszufinden, ob ein bestimmtes Wort zu einem Objekt oder zu einer Handlung gehört. Geht beispielsweise einem Wort ein Artikel voraus, dann bezieht es sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf ein Objekt und ist ein Nomen: *ein Ball*; *ein Hase*. Geht einem Wort dagegen ein Hilfszeitwort voraus, wie in dem Satz „*Schau mal, der Hase kann springen*“, dann bezieht es sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine Handlung und ist ein Verb: *kann springen*. So wurde gezeigt, dass Kinder bereits ab einem Alter von sechs Monaten verschiedene funktionale Kategorien dieser Art erkennen können.<sup>20</sup>

Im Alter von etwa zwölf bis vierzehn Monaten erkennen Kinder die ersten Wörter und ihre Bedeutungen. Im Alter von zweieinhalb Jahren verfügen sie über kritische syntaktische Parameter ihrer Muttersprache, etwa dass im Deutschen das Verb im Nebensatz am Ende steht.<sup>21</sup> Allerdings dauert es noch ein paar Jahre, bevor das Kind Sätze, in denen das Objekt und nicht das Subjekt am Satzanfang steht (z.B. *Den Bär schubst der Tiger*) richtig interpretieren kann. Noch im Alter von fünf Jahren liegt die Interpretation des Akteurs der Handlung in solchen Sätzen im Zufallsbereich.<sup>22</sup>

Wie sind diese Entwicklungsverläufe zu erklären und welche Rolle spielt die Hirnreifung dabei?

### Hirnaktivitätsmessung bei Kleinkindern und Kindern

Um diese Frage zu klären, wurden in den vergangenen Jahren in den Untersuchungen verstärkt bildgebende Verfahren eingesetzt. Die am häufigsten verwendete Messgröße bei Kleinkindern und jungen Kindern ist das ereignis-

<sup>19</sup> Z.B. Baldwin und Moses, 2001; Tomasello, 2003.

<sup>20</sup> Z.B. Höhle und Weissenborn, 2003; Höhle et al., 2004.

<sup>21</sup> Höhle et al., 2001.

<sup>22</sup> Dittmar et al., 2008.

korrelierte Hirnpotential (EKP), wie es bei der Elektroenzephalographie (EEG) erfasst wird. Das EKP spiegelt die Gehirnaktivität als Antwort auf ein bestimmtes Stimulusereignis mit hoher zeitlicher Auflösung wider und kann so Auskunft über den zeitlichen Verlauf sprachlicher Verarbeitungsprozesse geben. Als zweite Methode kam die Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS), auch als Optical Imaging bezeichnet, zur Anwendung. Sie erlaubt es, die kortikale hämodynamische Antwort bei Kleinkindern zu untersuchen, indem sie mittels der Spektroskopie die Veränderungen der Hämoglobinkonzentration in der Großhirnrinde misst. Mit dieser Methode können relativ gut Aussagen über das Wo der Aktivität gemacht werden. Als dritte Methode wird seit kurzem auch die fMRT eingesetzt, bei der die räumliche Auflösung sehr viel besser ist. Bisher wurde diese Art der Messung jedoch bei Kleinkindern nur selten angewendet, da sie besonders anfällig für Bewegungsartefakte ist. Zurzeit steht mithin eigentlich keine Messmethode zur Untersuchung von Kleinkindern zur Verfügung, die eine optimale Zeit- und Ortsauflösung mit einer leichten Handhabung verbindet. Allerdings ergänzen sich die Ergebnisse der jeweiligen Messmethoden und geben so Einblick in die Gehirngrundlagen der Sprachentwicklung in den Frühstadien.

### Von der Akustik zur Sprache

Der erste Einstieg von Kleinkindern in die Sprache beruht auf der Verarbeitung phonologischer Information. Eine ausschlaggebende Fähigkeit bei diesem ersten Schritt des Spracherwerbs besteht darin, dass der Säugling zwischen Sprache und nichtsprachlichem auditorischem Input unterscheiden lernt, um sprachliche Informationen gezielt wahrnehmen zu können. In einem fMRI-Experiment<sup>23</sup> wurde die Gehirnaktivität gemessen, die von normaler („Vorwärts-“) und umgekehrter („Rückwärts-“) Sprache bei drei Monate alten Kleinkindern hervorgerufen wird, welche Französisch lernen. Vorwärtssprache löste eine stärkere Aktivierung im linken Temporallappen aus als Rückwärtssprache. Diese Daten lassen vermuten, dass schon im Alter von drei Monaten, ähnlich wie bei Erwachsenen, eine linkshemisphärische Dominanz für Sprache vorliegt. Darüber hinaus konnte gezeigt werden,<sup>24</sup> dass die Dominanz der rechten Gehirnhälfte, die man bei der Verarbeitung der Satzprosodie bei Erwachsenen findet, auch schon im Alter von drei Monaten angelegt ist.

Ein ganz entscheidender Gesichtspunkt bei der Satzprosodie ist, dass sie die Phrasengrenzen anzeigt (wie in den Sätzen (4) und (5) durch Komma ange-

---

<sup>23</sup> Dehaene-Lambertz, Dehaene & Hertz-Pannier, 2002.

<sup>24</sup> Homae et al., 2006

zeigt): Jede prosodische Phrasengrenze ist also eine syntaktische Phrasengrenze. Das bedeutet, dass Kleinkinder, sobald sie die für die Einteilung gehörter Sprache in einzelne Phrasen erforderliche prosodische Information erkannt haben, syntaktische Phrasengrenzen identifizieren können. Die prosodische Phrasengrenze ist normalerweise durch drei Parameter markiert: Änderung des Tonhöhenverlaufs, Längung der letzten Silbe vor der Pause und die Pause selbst. Bei Erwachsenen fand man eine bestimmte EKP-Komponente, die mit der Verarbeitung von prosodischen Phrasengrenzen bei gesprochener Sprache korreliert.<sup>25</sup> Für Kinder konnte eine solche EKP-Komponente bereits im Alter von fünf Monaten gezeigt werden, aber nur dann, wenn die prosodische Phrasengrenze durch eine deutliche Pause markiert war.<sup>26</sup> Bei Erwachsenen reicht die an der prosodischen Phrasengrenze vorhandene Änderung des Tonhöhenverlaufs und der Längung der präfinalen Silbe als Hinweisreiz zum Erkennen der Grenze aus; bei fünf Monate alten Kindern ist dagegen die zusätzliche Markierung durch die Pause für ein Erkennen der Grenze notwendig. Dies belegt in exemplarischer Weise, wie Kleinkinder den Einstieg in die Sprache primär über markante akustische Signale bekommen. Später erst, wenn den akustischen Signalen eine funktionelle Bedeutung zugeschrieben wird, reichen weniger markante Signale aus.

Noch bevor Kleinkinder anfangen, vor sich hin zu lallen und zu plappern, erweisen sie sich als höchst sensibel für prominente, häufig auftretende Betonungsmuster ihrer Muttersprache. Die Betonung zweisilbiger Wörter liegt im Deutschen auf der ersten Silbe (*Máma, Pápa*), während sie im Französischen auf der zweiten Silbe liegt (*mamá, papá*). Daten einer kürzlich durchgeführten EKP-Studie, in der vier bis fünf Monate alte deutsche und französische Kinder untersucht wurden, zeigen: Deutsch lernende Kinder reagieren stärker auf das sprachuntypische Betonungsmuster des Deutschen (Betonung auf der zweiten Silbe), wohingegen Französisch lernende Kinder stärker auf das sprachuntypische Betonungsmuster des Französischen (Betonung auf der ersten Silbe) reagieren.<sup>27</sup> Dieser Befund belegt, dass Kinder schon im Alter von vier bis fünf Monaten Wissen über die vorherrschenden Betonungsmuster ihrer Muttersprache aufgebaut haben.

In diesem Alter sind Kleinkinder ebenfalls bereits hoch sensibel für syntaktische Regularitäten im Sprachinput. Mittels EKP-Messungen konnte kürzlich gezeigt werden, dass Kleinkinder im Alter von vier Monaten in der Lage sind, syntaktische Relationen zwischen zwei Elementen im Satz zu erkennen, und

---

<sup>25</sup> Steinhauer et al., 1999

<sup>26</sup> Männel & Friederici, 2009.

<sup>27</sup> Friederici, Friedrich & Christophe, 2007.

zwar in einer Sprache, die sie nie zuvor gehört hatten. Deutsche Kleinkinder hörten eine Reihe von italienischen Sätzen, in denen ein bestimmtes Auxiliar (Hilfsverb) die jeweilige Endung des Verbs bestimmt (wie in den Sätzen (6) und (7)).

(6) *La sorella sta cantando. / Die Schwester ist (am) singen.*

(7) *La sorella puo cantare. / Die Schwester kann singen.*

Deutsche Kleinkinder im Alter von vier Monaten lernen diese syntaktische Abhängigkeit des Italienischen nach weniger als einer halben Stunde passiven Hörens italienischer Sätze.<sup>28</sup> Konfrontiert mit korrekten Sätzen (z.B. (6) und (7)) und inkorrekten Sätzen (z.B. *\*La sorella puo cantando*, *\*La sorella sta cantare*), zeigten sie einen deutlichen Unterschied in der Gehirnreaktion auf korrekte und inkorrekte Sätze. Diese frühen Fähigkeiten des Erkennens von Regularitäten im Input sind die Grundvoraussetzungen für den menschlichen Spracherwerb, für den späteren Erwerb von Syntax.

### Von Wörtern zu komplexen Sätzen

Der Erwerb von Wortwissen, von Wörtern und ihren Bedeutungen, zieht sich über Jahre hin. Zunächst erwerben Kleinkinder Wissen über die mögliche Lautform von Wörtern in ihrer Sprache, und später erst erwerben sie Wissen über deren konkrete Bedeutung. Kleinkinder im Alter von sieben bis elf Monaten können einzelne Wortformen, die ihnen im Experiment beigebracht wurden, wiedererkennen, auch wenn sie im Satz präsentiert werden.<sup>29</sup> Im Alter von zwölf Monaten können sie lautlich legale von illegalen Wörtern ihrer Muttersprache unterscheiden. Zunächst verfügen Kleinkinder aktiv nur über wenige Wörter, aber ab dem 14. Monat kann man einen sogenannten Vokabelspurt beobachten. Kinder lernen jetzt mehrere neue Wörter am Tag. Hirnaktivitätsmessungen deuten daraufhin, dass die semantische Repräsentation von Wörtern ab dem zweiten Lebensjahr kontinuierlich schärfer wird. Die beobachteten Hirnaktivitätsmuster bei Kindern im Gegensatz zu Erwachsenen sprechen sowohl für eine weniger fokussierte neuronale Repräsentation, als auch für langsame Prozesse bei der Verarbeitung semantischer Information.<sup>30</sup>

Nach dem Stadium der Ein-Wort-Äußerungen („da“, „Papa“, „auf“), folgt das Stadium der Zwei-Wort-Äußerungen („Papa auf“, was so viel heißen kann wie „Papa, mach die Tür auf“). Solche Zwei-Wort-Äußerungen signalisieren erste

<sup>28</sup> Friederici, Müller & Oberecker, 2011.

<sup>29</sup> Kooijman, Hagoort & Cutler, 2005; 2009.

<sup>30</sup> Friedrich & Friederici, 2004; 2005.

Satzstrukturen. Mit zweieinhalb bis drei Jahren zeigen Kinder bereits sprachspezifisches syntaktisches Wissen. So wissen zum Beispiel Deutsch lernende Kinder, dass in ihrer Muttersprache das Verb im Nebensatz am Satzende steht („Peter weiß, dass Lisa Oma hilft“ und nicht „Peter weiß, dass Lisa hilft Oma“).

In den folgenden drei bis vier Lebensjahren erfahren Wortschatz und das syntaktische Wissen eine kontinuierliche Erweiterung. In der Syntaxdomäne ist es interessant zu beobachten, dass sich der Aufbau des grammatischen Wissens und dessen Gebrauch trotz des Erkennens von syntaktischen Relationen im frühen Kindesalter doch bis zum Alter von sieben Jahren hinziehen.<sup>31</sup> EKP-Studien der Satzverarbeitung bei Erwachsenen haben gezeigt, dass syntaktische Verarbeitung mit zwei EKP-Komponenten einhergeht. Während die eine als schnelle, automatische Antwort auf syntaktisch oder morphosyntaktisch unerwartete Elemente angesehen wird, wird die andere als Ausdruck von späteren, kontrollierteren Prozessen syntaktischer Integration von Information interpretiert.<sup>32</sup>

Können uns diese EKP-Komponenten Hinweise auf die syntaktischen Entwicklungsstadien bei Kindern geben? Woran liegt es, dass Sätze wie (8), die nicht der normalen Wortordnung folgen, im Gegensatz zu Sätzen wie (9), so schwierig für Kinder im Vorschulalter sind? Nehmen die Kinder den Unterschied zwischen *den* und *der* nicht wahr? Oder können Sie die vorhandenen Informationen nicht integrieren und zur Satzinterpretation benutzen?

(8) *Den Bär schubst der Tiger.*

(9) *Der Tiger schubst den Bär.*

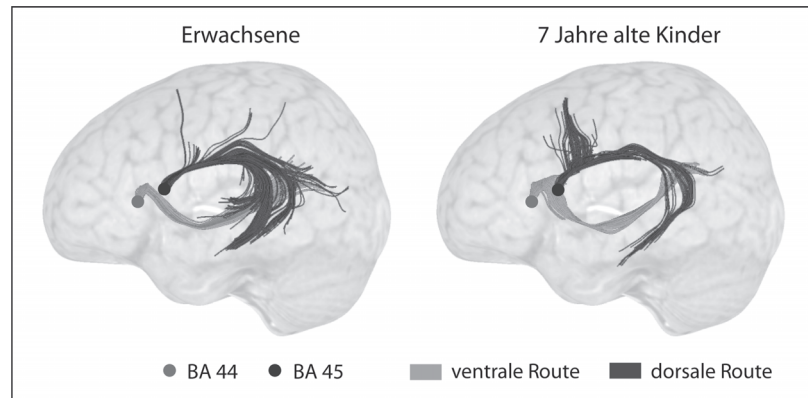
Letzteres scheint der Fall zu sein. Im Alter von drei und vier Jahren zeigt das EKP einen deutlichen Unterschied zwischen Subjekt-zuerst-Sätzen mit *der* in satzinitialer Position und Objekt-zuerst-Sätzen mit *den* in satzinitialer Position. Dies belegt, dass die Kinder den Unterschied zwischen *der* und *den* am Satzanfang wahrnehmen. Bei der Satzinterpretation, getestet in einer Satz-Bild-Zuordnungsaufgabe, zeigen dieselben Kinder für die Objekt-zuerst-Sätze eine Performanz, die nicht über das Zufallsniveau hinausgeht.<sup>33</sup> Diese Befunde machen deutlich, dass jüngere Kinder sehr wohl wichtige syntaktische Information (Kasusmarkierung im Artikel) wahrnehmen, diese aber im Alter von drei und vier Jahren nicht zur Satzinterpretation verwenden.

Was könnte der Grund hierfür sein? Hat er eventuell mit den neurobiologischen Gegebenheiten von jüngeren Kindern gegenüber Erwachsenen zu tun? Eine

<sup>31</sup> Dittmar et al., 2008.

<sup>32</sup> Friederici, 2002; Friederici & Kotz, 2003.

<sup>33</sup> Schipke, Oberecker & Friederici, in Vorbereitung.



Quelle: Brauer, Anwander & Friederici, *Cerebral Cortex*, in press

Abb 4: Faserverbindungen zwischen dem Broca-Areal (BA 44 und BA 45) und dem Temporalappen. Darstellung der strukturellen Verbindungen ausgehend von BA 44 über die dorsale Route in den Temporalappen und von BA 45 über die ventrale Route in den Temporalappen.

klare Antwort auf diese Fragen gibt es derzeit noch nicht, aber erste Hinweise deuten an, dass die Neurobiologie der Hirnreifung hier eine Rolle spielt.

Betrachten wir zunächst das erwachsene Gehirn. Die Verarbeitung von syntaktisch komplexen Sätzen wird durch ein neuronales Netzwerk gesichert, welches aus dem Broca-Areal und dem posterioren Anteil des Temporalcortex besteht (siehe oben). Diese beiden Hirnregionen sind durch Faserbündel direkt miteinander verbunden.<sup>34</sup> Da sowohl das Broca-Areal als auch der posteriore Anteil des Temporalcortex für die Verarbeitung von einfachen Sätzen bei sechs Jahre alten Kindern aktiviert sind,<sup>35</sup> haben diese Hirngebiete entweder selbst noch nicht die gleiche Funktion wie bei Erwachsenen, oder aber die Faserverbindung zwischen den beiden Hirngebieten, für die die spezifische Funktion der Interpretation von syntaktisch komplexen Sätzen kritisch ist, ist noch nicht voll ausgereift.

Und in der Tat geht aus einer neuen Untersuchung hervor, dass diese Faserverbindung bei Erwachsenen deutlich stärker ausgeprägt ist als bei sieben Jahre alten Kindern.<sup>36</sup> Diese Daten geben erste Hinweise auf einen engen Zusammenhang von Hirnstruktur und kognitiver Funktion im Bereich Sprache.

<sup>34</sup> Friederici et al., 2006a; Saur et al., 2008.

<sup>35</sup> Brauer & Friederici, 2007.

<sup>36</sup> Brauer et al., *Cerebral Cortex*, 2011.

## Sprache und Gehirn heute

Mit den heutigen bildgebenden Verfahren sind wir in der Lage, bestimmten Hirnarealen spezifische Funktionen in der Sprachverarbeitung wie Phonologie, Semantik und Syntax zuzuweisen. Auch können wir das Zusammenspiel zwischen den einzelnen Hirnregionen funktionell und in seinem zeitlichen Verlauf beschreiben. Darüber hinaus erlauben es neuere Verfahren, die strukturellen Verbindungen, das heißt die Faserverbindungen, die den Informationsaustausch zwischen den einzelnen Hirnarealen sicherstellen, zu erfassen. Dies gilt vor allem für das erwachsene Gehirn. Jüngste Untersuchungen versuchen, unter Anwendung der bildgebenden Verfahren die Koevolution von Sprachverhalten und Hirnstruktur in der kindlichen Sprachentwicklung zu beschreiben. Erste Ergebnisse sprechen für einen engen Zusammenhang von Hirnreifung und Sprachentwicklung. Diese Ergebnisse bieten die Basis für ein Forschungsprogramm, welches die gegenseitige Bedingtheit von Hirnreifung und sprachlicher Entwicklung genauer untersucht. Dieses Forschungsprogramm sollte genetische Aspekte, wo immer möglich, mit einbeziehen. Die Zukunft der Erforschung des Zusammenhangs von Sprache und Gehirn liegt in einem interdisziplinären Forschungsansatz, welcher diese verschiedenen Aspekte berücksichtigt. Nur so werden wir dem Wunder der menschlichen Sprachfähigkeit und ihren biologischen Grundlagen auf die Spur kommen.

## Referenzen

- BALDWIN, D.A. & L.J. MOSES (2001): Links between social understanding and early word learning: Challenges to current accounts. *Social Development* **10**: 309–329.
- BOOKHEIMER, S. (2002): Functional MRI of language: New approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience* **25**: 151–188.
- BORNKESSEL, I., S. ZYSSETT, A.D. FRIEDERICI, D.Y. VON CRAMON & M. SCHLESEWSKY (2005): Who did what to whom? The neural basis of argument hierarchies during language comprehension. *NeuroImage* **26**: 221–233.
- BRAUER, J., A. ANWANDER & A.D. FRIEDERICI (2011): Neuroanatomical prerequisites for language functions in the maturing brain. *Cerebral Cortex* **21**: 459–466.
- BROCA, P. (1865): Sur le siège de la faculté du langage articulé. *Bulletins de la Société d'Anthropologie* **6**: 337–393.
- BRODMANN (1909): Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde. Leipzig: Barth.
- CAPLAN, D., E. CHEN & G. WATERS (2008): Task-dependent and task-independent neurovascular responses to syntactic processing. *Cortex* **44**: 257–275.

- CORINA, D.P. & S.L. MCBURNEY (2001): The neural representation of language in users of American Sign Language. *Journal of Communication Disorders* **34**: 455–471.
- CURTISS, S. (1977): *Genie: A psycholinguistic study of a modern day "wild child."* New York: Academic Press.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G., S. DEHAENE & L. HERTZ-PANNIER (2002): Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science* **298**: 2013–2015.
- DITTMAR, M., K. ABBOT-SMITH, E. LIEVEN & M. TOMASELLO (2008): German children's comprehension of word order and case marking in causative sentences. *Child Development* **79**: 1152–1167.
- ECKSTEIN, K. & A.D. FRIEDERICI (2006): It's early: Event-related potential evidence for initial interaction of syntax and prosody in speech comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience* **18**: 1696–1711.
- FISHER, S.E. & G.F. MARCUS (2006): The eloquent ape: genes, brains and the evolution of language. *Nature Reviews Genetics* **7**: 9–20.
- FRIEDERICI, A.D. & K. ALTER (2004): Lateralization of auditory language functions: A dynamic dual pathway model. *Brain and Language* **89**: 267–276.
- FRIEDERICI, A.D., J. BAHLMANN, S. HEIM, R.I. SCHUBOTZ & A. ANWANDER (2006a): The brain differentiates human and non-human grammars: Functional localization and structural connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **103**: 2458–2463.
- FRIEDERICI, A.D., C.J. FIEBACH, M. SCHLESEWSKY, I. BORNKESSEL & D.Y. VON CRAMON (2006b): Processing linguistic complexity and grammaticality in the left frontal cortex. *Cerebral Cortex* **16**: 1709–1717.
- FRIEDERICI, A.D. & S.A. KOTZ (2003): The brain basis of syntactic processes: Functional imaging and lesion studies. *NeuroImage* **20**: S8–S17.
- FRIEDERICI, A.D., M. MAKUUCHI & J. BAHLMANN (2009): The role of the posterior superior temporal cortex in sentence comprehension. *NeuroReport* **20**: 563–568.
- FRIEDERICI, A.D., M. FRIEDRICH & A. CHRISTOPHE (2007): Brain responses in 4-month-old infants are already language specific. *Current Biology* **17**: 1208–1211.
- FRIEDERICI, A.D., D.Y. VON CRAMON & S.A. KOTZ (2007): Role of the corpus callosum in speech comprehension: Interfacing syntax and prosody. *Neuron* **53**: 135–145.
- FRIEDRICH, M. & A.D. FRIEDERICI (2005): Phonotactic knowledge and lexical-semantic processing in one-year-olds: Brain responses to words and nonsense words in picture contexts. *Journal of Cognitive Neuroscience* **17**: 1785–1802.
- FRIEDRICH, M. & A.D. FRIEDERICI (2005): Lexical priming and semantic integration reflected in the event-related potential of 14-month-olds. *NeuroReport* **16**: 653–656.



- GOMEZ, R.L. & L. GERKEN (2000): Infant artificial language learning and language acquisition. *Trends in Cognitive Sciences* **4**: 178–186.
- GREWE, T., I. BORNKESSEL-SCHLESEWSKY, S. ZYSSET, R. WIESE, D.Y. VON CRAMON & M. SCHLESEWSKY (2007): The role of the posterior superior temporal sulcus in the processing of unmarked transitivity. *NeuroImage* **35**: 343–352.
- GREWE, T., I. BORNKESSEL, S. ZYSSET, R. WIESE, D.Y. VON CRAMON & M. SCHLESEWSKY (2005): The emergence of the unmarked: A new perspective on the language-specific function of Broca's area. *Human Brain Mapping* **26**: 178–190.
- GREWE, T., I. BORNKESSEL, S. ZYSSET, R. WIESE, D.Y. VON CRAMON & M. SCHLESEWSKY (2006): Linguistic prominence and Broca's area: The influence of animacy as a linearization principle. *NeuroImage* **32**: 1395–1402.
- GRODZINSKY, Y. (2000): The neural substrate of the language faculty: Suggestions for the future. *Brain and Language* **71**: 82–84.
- HAGOORT, P., L. HALD, M. BASTIAANSEN & K.M. PETERSSON (2004): Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension. *Science* **304**: 438–441.
- HÖHLE, B. & J. WEISSENBORN (2003): German-learning infants' ability to detect unstressed closed-class elements in continuous speech. *Developmental Science* **6**: 122–127.
- HÖHLE, B., J. WEISSENBORN, M. SCHMITZ & A. ISCHEBECK (2001): Discovering word order regularities: The role of prosodic information for early parameter setting. In WEISSENBORN, J. & B. HÖHLE (Hrg.) *Approaches To Bootstrapping. Phonological, lexical, syntactic and neurophysiological aspects of early language acquisition. Volume 1.* Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins.
- HÖHLE, B., E. WEISSENBORN, D. KIEFER, A. SCHULZ & M. SCHMITZ (2004): Functional elements in infants' speech processing: The role of determiners in the syntactic categorization of lexical elements. *Infancy* **5**: 341–353.
- HOMAE, F., H. WATANABE, T. NAKANO, K. ASAKAWA & G. TAGA (2006): The right hemisphere of sleeping infant perceives sentential prosody. *Neuroscience Research* **54**: 276–280.
- KOOIJMAN, V., P. HAGOORT & A. CUTLER (2005): Electrophysiological evidence for prelinguistic infants' word recognition in continuous speech. *Cognitive Brain Research* **24**: 109–116.
- KOOIJMAN, V., P. HAGOORT & A. CUTLER (2009): Prosodic structure in early word segmentation: ERP evidence from Dutch ten-month-olds. *Infancy* **14**: 591–612.
- MÄNNEL, C. & A.D. FRIEDERICI (2009): Pauses and intonational phrasing: ERP studies in 5-month-old German infants and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience* **21**: 1988–2006.
- MUSSO, M., A. MORO, V. GLAUCHE, M. RIJNTJES, J. REICHENBACH, C. BUCHEL & C. WEILLER (2003): Broca's area and the language instinct. *Nature Neuroscience* **6**: 774–781.

- OBERECKER, R. & A.D. FRIEDERICI (2006): Syntactic event-related potential components in 24-month-olds' sentence comprehension. *NeuroReport* **17**: 1017–1021.
- PANNEKAMP, A., U. TOEPEL, K. ALTER, A. HAHNE & A.D. FRIEDERICI (2005): Prosody-driven sentence processing: An event-related brain potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience* **17**: 407–421.
- ROEDER, B., O. STOCK, H. NEVILLE, S. BIEN & F. ROESLER (2002): Brain activation modulated by the comprehension of normal and pseudo-word sentences of different processing demands: A functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage* **15**: 1003–1014.
- Rogalsky, C. & G. Hickok (2009): Selective attention to semantic and syntactic features modulates sentence processing networks in anterior temporal cortex. *Cerebral Cortex* **19**: 786–796.
- SAUR, D., B.W. KREHER, S. SCHNELL, D. KUMMERER, P. KELLMEYER, M.S. VRY et al. (2008): Ventral and dorsal pathways for language. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **105**: 18035–18040.
- SNIJEDERS, T.M., T. VOSSE, G. KEMPEN, J.J.A. VAN BERKUM, K.M. PETERSSON & P. HAGOORT (2009): Retrieval and Unification of Syntactic Structure in Sentence Comprehension: an fMRI Study Using Word-Category Ambiguity. *Cerebral Cortex* **19**: 1493–1503.
- STEINHAUER, K., K. ALTER & A.D. FRIEDERICI (1999): Brain potentials indicate immediate use of prosodic cues in natural speech processing. *Nature Neuroscience* **2**: 191–196.
- TOMASELLO, M. (Ed.) (2003): *The New Psychology of Language, Volume 2: Cognitive and Functional Approaches to Language Structure*. Lawrence Erlbaum.
- VARGHA-KHADEM, F., D.G. GADIAN, A. COPP & M. MISHKIN (2005): FOXP2 and the neuroanatomy of speech and language. *Nature Reviews Neuroscience* **6**: 131–138.
- VIGNEAU, M., V. BEAUCOUSIN, P.Y. HERVE, H. DUFFAU, F. CRIVELLO, O. HOUDE, B. MAZOYER & N. TZOURIO-MAZOYER (2006): Meta-analyzing left hemisphere language areas: Phonology, semantics, and sentence processing. *NeuroImage* **30**: 1414–1432.
- WERNICKE, C. (1874): *Der aphasische Symptomenkomplex. Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis* (Breslau).

# DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

VERLEIHT DIE

CARL FRIEDRICH GAUSS-MEDAILLE

FRAU

PROF. DR. PHIL.  
ANGELA D. FRIEDERICI

LEIPZIG

IN WÜRDIGUNG IHRER HERAUSRAGENDEN FORSCHUNGEN  
ZUR ENTSCHLÜSSELUNG DES ZUSAMMENHANGS VON  
SPRACHE UND GEHIRN

MIT HILFE BILDGEBENDER VERFAHREN UNTERSUCHT SIE, WELCHE PROZESSE IM MENSCHLICHEN GEHIRN ABLAUFEN, WENN SPRACHE VON ERWACHSENEN UND KINDERN VERARBEITET WIRD. IHRE FORSCHUNG LIEFERT WEGWEISENDE ERKENNTNISSE DARÜBER, WIE IM GEHIRN DIE DREI TEILKOMPONENTEN DER GESPROCHENEN SPRACHE, SYNTAX, SEMANTIK UND PROSODIE WIRKSAM WERDEN UND ÜBER NEURONALE NETZWERKE ZUSAMMENARBEITEN, BIS EIN VERSTÄNDNIS GESPROCHENER SPRACHE ERREICHT WIRD. FRAU FRIEDERICI ÜBERWINDET MIT IHREM FACHÜBERGREIFENDEN METHODISCHEN ANSATZ IN VORBILDLICHER WEISE DIE TRADITIONELLEN GRENZEN ZWISCHEN GEISTES- UND NATURWISSENSCHAFTEN.

Braunschweig, den 30. April 2011



Präsident  
der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft

**Friederici, Angela**, Prof. Dr. phil., Direktorin des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften, Stephanstr. 1 A, 04103 Leipzig

- 1952, 03.02. geb. in Köln
- 1970–1976 Studium der Germanistik, Romanistik und Sprachwiss. an den Univ. Bonn und Lausanne
- 1975–1980 Studium der Psychologie an der Univ. Bonn, Diplom
- 1976 Promotion im Fach Germanistik an der Univ. Bonn
- 1978/79 Post-Doc-Stip. am Massachusetts Inst. of Technology (MIT), Dept. of Psychology, und Post-Doc-Stip. (DFG) am Aphasia Research Center, V.A. Medical Center und Dept. of Neurology, Boston Univ. School of Medicine, Boston, MA, USA
- 1979–1989 Max-Planck- und Heisenberg-Stipendiatin am Max-Planck-Inst. f. Psycholinguistik, Nijmegen, Niederlande
- 1984/85 Stip. der European Science Foundation (ESF) am Laboratoire de Psychologie Expérimentale, Université René Descartes, Paris
- 1986 Habilitation im Fach Psychologie an der Univ. Gießen
- 1988 Forschungsaufenthalt am Center for Cognitive Science der Univ. of California San Diego, USA
- 1989–1994 Univ.-Prof. für Psychologie an der FU Berlin
- seit 1994 Gründungsdirektorin, Wiss. Mitglied und Mitglied im Kollegium des Max-Planck-Instituts für neurophysiologische Forschung in Leipzig
- seit 1995 Honorarprof. an der Fak. f. Biowiss., Pharmazie und Psychologie der Univ. Leipzig
- seit 1997 Honorarprof. an der Phil. Fak. II der Univ. Potsdam
- seit 2004 Honorarprof. der Charité Universitätsmedizin Berlin.
- seit 1993 o. Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wiss.
- 1996–2001 Mitglied im Senat der DFG
- seit 2000 Mitglied der Deutschen Ak. der Naturforscher Leopoldina
- seit 2003 Mitglied des Gesundheitsforschungsrats des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
- 2005–2007 Vizepräsidentin der Berlin-Brandenburgischen Ak. der Wiss.
- 2006–2009 Vorsitzende des Wiss. Rats der Max-Planck-Ges.
- 1990 Alfred Krupp-Förderpreis für junge Hochschullehrer
- 1997 Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der DFG
- 1999–2000 DaimlerChrysler-Stipendium am Wissenschaftskolleg zu Berlin
- seit 2007 Mitglied der Academia Europaea
- 2010 Johannes-Gutenberg-Stiftungsprof. Univ. Mainz

Zahlreiche wiss. Publ.

## Schlußworte zur Jahresversammlung der BWG am 13. Mai 2011

Lernen wir etwas, meine sehr verehrten Damen und Herren, dann lernen wir auch immer etwas über uns. Der diesjährigen Trägerin der Carl Friedrich Gauß-Medaille, Frau Professorin Friederici gilt heute unser herzlicher Dank für den Festvortrag, Frau Professorin Zwitterlood für die Laudatio; für das gedankliche Netzwerk des vormittäglichen Kolloquiums Professor Eckart Altenmüller von der Hochschule für Musik, Theater und Medien in Hannover, Professor Thomas Fuchs von der Psychiatrischen Universitätsklinik Heidelberg, Professor Hans Koch von der PTB Berlin und Professor Martin Korte von unserer TU.

Hatten wir heute doch das Glück, *viel* zu lernen über uns – wenn anders der Mensch unbeschadet aller epochalen Umbrüche seines Selbstverständnisses das Aristotelische *zôion logon echon* bleibt, das Tier, das der Sprache inne ist, dank der Sprache der Welt und in der Welt seiner Geschichte – und so auch der Geschichte des *logos* selbst, der dem Menschen immer sagt, wer sie beide seien, der Mensch und die Sprache. Der *logos* sagt es immer neu und immer anders, denn der Mensch ist *das produktive Tier* dank der Sprache und ihrer Kraft der Abstraktion. Und wenn wir wieder einmal die Frage stellen, wer oder was die Geschichte „macht“, was die Schubkraft dieser Evolution mit Bewußtsein sei, die wir Geschichte nennen, dann werden wir wohl die denkwürdige Antwort zu geben haben: der *logos*.

Näher ist er die begreifende Sprache. Im vorindustriellen Europa sprach die Vernunft, der griechische *noys*, der lateinische *intellectus*, das neuzeitliche natürliche Bewußtsein; aber unter den Bedingungen der industriellen Revolution wurde Nietzsches Einsicht reif, der Mensch sei das noch nicht festgestellte Tier – *weil* der *logos* nicht mehr „festgestellt“ war. Für Wilhelm von Humboldt soeben noch „die sich ewig wiederholende Arbeit des Geistes, den artikulierten Laut zum Ausdruck des Gedanken fähig zu machen“, ist die Sprache seither ein freies Feld, in dem sich auch die neuen, in ihrer fortdauernden Fruchtbarkeit immer erstaunlichen Wissenschaften von der Sprache entwickelt haben.

In deren vielstimmiger Fuge klingt so zart wie unüberhörbar die moderne Erfahrung des Dichters mit:

So lernt ich traurig den verzicht:  
Kein ding sei wo das wort gebricht.

Die Verse stehen in einem Gedicht Stefan Georges mit dem Titel „Das Wort“. In einem andern dieser späten Gedichte heißt es in verwandter Bedeutung:

Worin du hängst – das weißt du nicht.

Beide Gedichte entstanden 1919. Im Jahr zuvor hatte Ludwig Wittgenstein die Arbeit an seiner „Logisch-philosophischen Abhandlung“ zu Ende gebracht, dem für das Sprachdenken des 20. Jahrhunderts epochemachenden „Tractatus“. Dort heißt es in fühlbarer Nähe zu Georges „Wort“: „*Die Grenzen meiner Sprache* bedeuten die Grenzen meiner Welt,“ und: „Die Welt des Glücklichen ist eine andere als die des Unglücklichen.“

Möge uns allen, auch im Vertrauen auf die Wissenschaft, die glücklichere Welt mit der Wendung Wittgensteins „zunehmen“ – in diesem Sinn wünsche ich Ihnen noch einen freundlichen Abend und Weg nach Hause.

## **Mitteilungen**

### **Veröffentlichungen**

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

Jahrbuch 2010 der BWG mit 211 Seiten

Abhandlungen Bd. LXIII mit 218 Seiten

### **Geschäftliche Mitteilungen:**

Am 31.12.2011 gehörten der BWG 149 ordentliche Mitglieder an, davon 79 unter 70 Jahren, sowie 66 korrespondierende Mitglieder. Die Zahl der Mitglieder unter 70 Jahren betrug in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften 29, in der Klasse für Ingenieurwissenschaften 27 und in der Klasse für Geisteswissenschaften 24. Von den ordentlichen Mitgliedern zählten zum Bereich Braunschweig 83, zum Bereich Clausthal 13, zum Bereich Göttingen 8, zum Bereich Hannover 40, zum Bereich Hildesheim 1 und zum Bereich Osnabrück 4.

Das Plenum trat am 09.12.2011 zu seiner jährlichen Hauptsitzung zusammen, nahm die Jahresberichte des Präsidenten und des Vizepräsidenten entgegen und beschloss den Haushalt 2012. In den Wahlsitzungen am 08.04. und am 09.12.2011 wurden die auf den Seiten 222 ff. vorgestellten Mitglieder zugewählt. Das am 01.07.2011 tagende Konzil wählte den Gauß-Preisträger 2012 und legte die Feierliche Jahresversammlung auf den 11.05.2012 fest.

## **Personalia**

### **Todesfälle**

- 14.02.2011 Franz Meier (\*11.09.58), Dr.phil., Prof. für Anglistische Literaturwissenschaft, TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Geisteswissenschaften seit 2009.
- 07.08.2011 Gerwalt Zinner (\*30.09.24), Dr.phil. Dr.rer.nat. h.c., Prof. em. für Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1971.
- 30.10.2011 Helmut Braß (\*22.02.36), Dr.rer.nat., Prof. für Angewandte Mathematik, TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1991. Generalsekretär vom 01.01.1995 bis 31.12.1997.



## Nachrufe

ARNE E. BJERHAMMAR

\* 1917 † 06.02.2011

On the 6th of February, at the age of 93, Arne E. Bjerhammar passed away, less than one year after his wife Carin.

He was born in 1917 at Båstad, southern Sweden, and after completing high school he became a student at the Royal Institute of Technology (KTH) in Stockholm, where he achieved a M.Sc. degree in Surveying in 1942 and the doctor's grade in Geodesy in 1948. He was soon appointed Docent/Associate professor of Geodesy, and, in 1952, Professor of Geodesy at KTH, a chair he was to hold until he retired in 1983.

As a professor he soon became popular among students for his relaxed style and humour. Later, in the 1970-ties usually two weeks a year were spent abroad (in Finland, Italy, Iceland, Spain and Greece) with a group of students, mainly for practical teaching of planning and measuring of geodetic networks. However, the project in Finland in 1970 was also a research project on the precise Niinisalo baseline to gathering EDM and meteorological data for estimating the velocity of light. Furthermore, in 1973, at the historical Thingvellir with surroundings in Iceland, a project for repeated observations, aiming at estimating crustal/plate motion, was started up.

His research covered many fields of geodesy. As a result of his doctor's dissertation "A contribution to the methods of optical distance measuring, specially with regard to the problems of automatic plotting" and for his refinement of the modulation system of the Swedish EDM instrument Geodimeter he became one in the record of Swedish inventors. However, many geodesists (and mathematicians) know him for the first time for his new matrix algebra with generalized matrix inverses, published in 1955 (in Swedish) and 1957 (in English). Seven years later, fascinated by M.S. Molodensky's new approach to solve the basic

---

\* Erschienen in: IAG Newsletter, Februar 2001. Wir danken dem Autor und der International Association of Geodesy für die Erlaubnis zum Wiederabdruck.

problems of physical geodesy, he presented his original idea of analytical downward continuation of the gravity anomaly to an internal sphere ("the Bjerhammar sphere"), a method that was first met with scepticism by the geodetic community. However, supports were to come, and Bjerhammar was particularly proud and happy to say that, after a long discussion at the IUGG meeting in Berkeley in 1963, Helmut Moritz was convinced and appreciated his method. In 1969 Torben Krarup wrote in his well-known contribution to the foundations of physical geodesy: "As far as I can see, the most important point of view introduced in physical geodesy since the appearance of Molodenskiy's famous articles is Bjerhammar's idea of calculating an approximation of the potential by collocation, at the points where gravity anomalies have been measured, of potentials that are regular down to a certain sphere situated inside the surface of the earth." Among other areas of interest are his original proposals of recovering the Earth's gravity field by using the energy integral for satellites (1967) and by the theory of general relativity using atomic clocks (1975 and 1985) as well as his studies on the correlation between the gravity field and the Fennoscandian land uplift phenomenon in the 1970-ties. He is the author of about 200 scientific articles, including 2 textbooks, many of the articles published as internal KTH reports. He chaired the IAG study group on Statistical Methods in Geodesy (1963–1967).

His sabbatical leaves can be summarized as the stays as a Visiting Scientist at The Research Institute for Geodetic Sciences in Alexandria, USA, in 1967–1968, at Stuttgart University (as an A-v-Humboldt scholar) in 1982, National Geodetic Survey in Washington, D.C., in 1984 and at Ohio State University in 1985–1986.

His research was followed by national and international recognition, confirmed by several prizes and rewards such as the German Gauss medal (1969), The Great Prize of KTH (1982), IAG's Levallois medal (1987) and the Rossby Prize of the Swedish Geophysical Society (1988). He has also been awarded "Nordstjärneorden" by his Majesty the King of Sweden. In 1988 he became an honorary doctor of the Technical University of Graz.

Scientific discussions with Arne Bjerhammar were always engaging, intensive, inspiring and inventive; nobody was left unmoved. His demise in 2011 appeared 100 years after the first professor of Geodesy was installed at KTH. By this sad event the last of "the three Swedish kings of geodesy" (Asplund, Tengström and Bjerhammar) is no longer with us.

Lars E. Sjöberg

## HANS-JOACHIM KOWALSKY

\* 16.07.1921 † 07.09.2010

Am 7. September 2010 ist Herr Dr. rer. nat. Hans-Joachim Kowalsky, emeritierter Universitätsprofessor für Mathematik an der Technischen Universität Braunschweig im Alter von 89 Jahren in Braunschweig verstorben. Am 16. Juli 1921 wurde er in Königsberg geboren. Nach dem Abitur, das er 1938 in Stettin ablegte, leistete er den Arbeitsdienst und den Wehrdienst ab. Während des gesamten zweiten Weltkriegs war er im Fronteinsatz. Nach dem Studium in Jena und Münster promovierte er 1949 an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster bei Friedrich Karl Schmidt mit einer Arbeit über Höhere Differenzen-Quotienten in topologischen Vektorräumen. In seinem aus zahlreichen Veröffentlichungen bestehenden wissenschaftlichen Werk widmete er sich den Beziehungen zwischen Algebra, Topologie, Geometrie und Verbandstheorie.

Seine Liebe galt in besonderem Maße der Lehre. Weite Verbreitung fanden seine klar und instruktiv geschriebenen Lehrbücher über Topologische Räume, Lineare Algebra und Vektoranalysis. Besonders das Lehrbuch über Lineare Algebra, das inzwischen mehrfach, zuletzt unter Mitwirkung von Gerhard O. Michler, überarbeitet wurde und seine zwölfte Auflage erlebt hat, zählt zu den Standardwerken für Studierende der Mathematik.

Hans-Joachim Kowalsky verbrachte seine Assistentenzeit an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg. Dort wurde er auch 1953 habilitiert, 1958 zum Privatdozent und 1959 zum apl. Professor ernannt. Während dieser Zeit nahm er Vertretungsprofessuren in Würzburg und Marburg wahr.

Ab 1963 lehrte und forschte er als ordentlicher Professor an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina in Braunschweig, der er auch trotz eines Rufs an die Ruhr-Universität Bochum treu blieb. Während dieser Jahre widmete er sich mit großem Eifer und Erfolg der Mathematikausbildung der Studierenden vieler Fächer. Seine klaren Vorlesungen kann man mit Recht als legendär bezeichnen. Er betreute bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1986 viele Doktorandinnen und Doktoranden.

In zahllosen Funktionen war er in der Selbstverwaltung seiner Universität tätig und er war bekannt für sein stets nach Ausgleich und gerechten Lösungen suchendes Nachdenken über die Probleme der damals sprunghaft wachsenden Universität.

Seit 1968 war er ordentliches Mitglied der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Er leitete diese Klasse von 1995 bis 1997 als Vorsitzender und er veröffentlichte bis 2001 eine Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten in den Abhandlungen der

Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Seit 2000 war er außerdem als Schatzmeister im Vorstand des Vereins der Freunde der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Auch nach seiner Emeritierung stand er, solange es seine Gesundheit zuließ, seinen Kollegen mit Rat und Tat zur Seite.

Wir werden uns an ihn stets mit Dank und Anerkennung erinnern.

Karl-Joachim Wirths

### GERWALT ZINNER

\* 30.09.1924 † 07.08.2011

Am 7. August 2011 verstarb in Braunschweig Dr. phil. Dr.rer.nat.h.c. Gerwalt Zinner, emeritierter Professor für Pharmazeutische Chemie an der Technischen Universität Braunschweig im Alter von 86 Jahren.

Mit ihm hat die BWG eine herausragende Persönlichkeit verloren, bei der die experimentelle Grundlagenforschung auf den Gebieten der präparativen organischen Chemie und Arzneistoffsynthese im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Arbeiten stand.

Gerwalt Zinner stammt aus Schalkau bei Sonneberg in Thüringen. Nach dem Wehrdienst (1942–1945) und dem Apotheken-Praktikum in Eisfeld (1945–1947) studierte er Pharmazie, Chemie und Lebensmittelchemie an der Philipps-Universität Marburg. 1951 legte er das Pharmazeutische Staatsexamen und 1952 das Diplomchemiker-Hauptexamen ab. 1953 wurde er mit der unter Anleitung von Professor Dr. Horst Böhme angefertigten Dissertation „Über organische Abkömmlinge von Polyschwefelwasserstoffen“ zum Dr.phil. promoviert. 1956 folgte das Lebensmittelchemiker-Hauptexamen. 1958 habilitierte er sich in Marburg mit der Schrift „Azylierungsreaktionen an Hydroxylamin-Derivaten, Aminen, Mercaptanen und Diazomethan“ und erhielt die Venia legendi für das Fach Pharmazeutische Chemie. Von 1951–1963 war er zunächst als Assistent, dann als Oberassistent am Pharmazeutisch-chemischen Institut in Marburg tätig. 1963 folgte er einem Ruf auf den neuerrichteten Lehrstuhl für Pharmazeutische Technologie am Institut für Pharmazie und Lebensmittelchemie der Universität Münster. 1965 nahm er den Ruf auf das Ordinariat für Pharmazeutische Chemie an der Technischen Universität Braunschweig als Nachfolger von Professor Dr. Harry Auterhoff an. Einen Ruf an die Universität München (Nachfolge Professor Dr.Dr.h.c. Eugen Bamann) lehnte er 1969 ab. Von 1965–1991 war Professor Zinner Geschäftsführender Leiter des Instituts für Pharmazeutische Chemie. Von

1968–1991 vertrat er die Hochschulpharmazie als Mitglied der Kammerversammlung der Apothekerkammer Niedersachsen. Mit Ende des Sommersemesters 1991 wurde er emeritiert. Als Emeritus hat er im folgenden Semester den Vorlesungszyklus abgeschlossen, weiterhin Doktoranden betreut und den Institutsvorstand mit wertvollen Ratschlägen tatkräftig unterstützt.

Im Zentrum von Gerwalt Zinners wissenschaftlichen Arbeiten stand die Chemie von Hydroxylamin und Hydrazin sowie ihrer Derivate, alles kleine Moleküle, die sich aufgrund ihres ambidenten Charakters zum Aufbau neuartiger Ringsysteme eignen. Weitere kleine Bausteine, zu denen Acetale, Amidine und Orthoester sowie Quadratsäure-Derivate zählten, kamen hinzu und wurden auf ihr Reaktionsverhalten geprüft. Auch die Ugi-Reaktion, eine Vierkomponentenreaktion, wurde in seinem Arbeitskreis bearbeitet. Als weitere Themen sind Bor-Chelatkomplexe und Eisenhydroxamat-Komplexe (Identitätsprüfung von  $\beta$ -Lactam-Antibiotica) zu nennen. Einige Beiträge zu analytischen Problemen des Arzneibuchs sowie zur organisch-chemischen Nomenklatur von Arzneistoffen vervollständigen das wissenschaftliche Werk.

Die bereits 1960 veröffentlichte „Spaltung von O-acylierten Hydroximsäureestern“ wird wegen ihrer präparativen Bedeutung seit 1985 „Zinner-Reaktion“ genannt. Der 1973 synthetisierte 3-Hydroxy-1,1-dimethylharnstoff erwies sich später als Naturstoff.

Die Forschungsergebnisse sind in 230 wissenschaftlichen Publikationen niedergelegt. 56 Mitarbeiter haben bei ihm ihre Doktorarbeit angefertigt. Fünf seiner Schüler haben sich habilitiert, vier (Wolfgang Kliegel, Dietrich Moderhack, Detlef Geffken, Wolfgang Ritter) für Pharmazeutische Chemie und einer (Niels-Peter Lüpke) für Pharmakologie und Toxikologie. Von diesen waren vier als Professoren an Universitäten und einer (W. Ritter) in der Pharmazeutischen Industrie tätig.

Die wissenschaftlichen Arbeiten wurden vielfach gewürdigt: 1958 durch ein Forschungsstipendium des Fonds der Chemischen Industrie, 1959 durch die Verleihung des Carl-Mannich-Forschungsstipendiums der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft (DPhG), 1971 mit der Wahl zum ordentlichen Mitglied der BWG, 1972 durch die Berufung in die Deutsche Akademie der Naturforscher, die Leopoldina in Halle/Saale. 1991 wurde ihm für sein wissenschaftliches Lebenswerk als höchste Auszeichnung der DPhG die Carl-Mannich-Medaille verliehen und 2003 erhielt er die Ehrendoktorwürde von der Universität Hamburg. 2004 wurde er mit der Goldenen Promotionsurkunde durch die Philipps-Universität Marburg geehrt.

Als Professor Zinner Ende 1965 den von seinem Vorgänger geplanten Neubau in der Beethovenstraße 55 übernahm, war dieser leer. Er kämpfte zunächst um eine Grundausstattung, da nicht einmal Stative und Klammern vorhanden waren.

Es kostete viel Mühe, bis auch Spektrometer zur Verfügung standen. Und er konnte seine personellen Vorstellungen durchsetzen. Für die Betreuung von 80 Studenten pro Semester in den großen Praktika (320 Stunden laut Approbationsordnung für Apotheker!) sowie der begleitenden Seminare und Erfolgskontrollen war dann jeweils ein Akademischer Rat verantwortlich. Schliesslich mußten seinerzeit auch die praktischen Prüfungen im Staatsexamen vorbereitet, durchgeführt und bewertet werden, was einen erheblichen Mehraufwand bedeutete.

Die von brillanter Tafelarbeit und meisterlicher Didaktik geprägten Vorlesungen Professor Zinners begeisterten zahlreiche Hörer, so daß stets ein großes Interesse an Stellen für studentische Hilfskräfte und für Doktoranden bestand. Parallel dazu findet man in seinen Publikationen raffiniert konstruierte Formelschemata, verbunden mit einem klaren, prägnanten Stil. Wie in der studentischen Lehre engagierte er sich bei der Fort- und Weiterbildung der praktischen Apotheker(innen). Seit 1989 war er auch Apotheker für Pharmazeutische Analytik.

Im Auftrag der Fachgruppe Pharmazeutische Chemie der DPhG hat das Institut im Frühjahr 1992 zur Verabschiedung von Professor Zinner das Symposium „Chiralität in der Arzneistoffforschung“ mit renommierten Wissenschaftlern aus Industrie und Hochschule durchgeführt.

Unmittelbar danach erkrankte Professor Zinner schwer. Glücklicherweise erholte er sich wieder, doch sein Körper spielte ihm noch manch bösen Streich. Fast 20 Jahre sind ihm noch verblieben.

Wir trauern um einen exzellenten Wissenschaftler und sind stolz darauf, mit ihm viele Jahre gemeinsam in Forschung, Lehre und akademischer Selbstverwaltung gearbeitet zu haben.

Klaus Görlitzer

## Zuwahlen

Zum ordentlichen Mitglied wurden am 08.04.2011 gewählt:

### in der Klasse für Ingenieurwissenschaften

**Wilhelm, Karin**, Prof. Dr. phil., Institut für Bau- und Stadtbaugeschichte, TU Braunschweig, Pockelsstr. 4, 38106 Braunschweig

- 1947, 25.02. geb. in Zeven
- 1966 Abitur in Bremen
- 1966–1980 Studium der Soziologie, Psychologie, Philosophie und Kunstgesch. an den Univ. Hamburg, Heidelberg, München, Berlin, Marburg
- 1980 Prom. in Kunstgesch.
- 1982–1990 Lehrbeauftragte am Fb. Architektur an der HdK Berlin
- 1986 Gastprof. für Kultur- und Designgeschichte an der HdK Berlin
- 1987 Gastprof. für Kunstgesch. an der GH Kassel
- 1990 Gastprof. für Kunst- und Architekturgesch. an der Univ. Oldenburg
- 1991 Assistent Prof. an der Hochschule für Gestaltung Ulm
- 1991–2001 Ordinaria für Kunst- und Architekturgesch. an der TU Graz
- 1992–1995 Mehrere Forschungsaufenthalte im Ausland
- 1996/97 Gastprof. an der Univ. Bonn
- ab 2001 Prof. für Gesch. und Theorie der Architektur und Stadt an der TU Braunschweig

Organisatorin und Mitorganisatorin zahlreicher Ausstellungen und Fachtagungen, Autorin und Hg. mehrerer Bücher, zahlreiche wiss. Publ. und Artikel in Architektur- und Kunstzeitschriften

### in der Klasse für Geisteswissenschaften

**Lehfeldt, Werner**, Prof. Dr. Dr. h. c., Steinbreite 9 c, 37085 Göttingen

- 1943, 22.05. geb. in Perleberg (Westprignitz)
- 1962 Abitur in Timmendorfer Strand
- 1962–1967 Studium der Slavistik, Geschichte, Allgemeinen Sprachwissenschaft und Soziologie an den Univ. Hamburg, Sarajevo und Bochum
- 1967 Prom. zum Dr. phil. an der Univ. Bochum

1967–1973	Wiss. Ass. am Sem. f. Slavistik der Univ. Bochum
1973	Hab. im Fach Slavistik an der Univ. Bochum.
1975	apl. Prof. an der Univ. Bochum
1976	o. Prof. an der Univ. Konstanz
1979–1989	Lehraufträge an den Univ. Basel und Zürich
seit 1982	Leiter des DFG-Projekts „Die Wortfügungen des Russischen“
seit 1983	Mitherausg. der Zeitschrift „Russian Linguistics“, seit 1993 Hauptredakteur
seit 1992	Lehrstuhl für Slav. Phil. (Sprachwiss.) an der Univ. Göttingen
1991/92	Prof. suppléant an der Univ. Genf
1992	korr. Mitglied der Kroatischen Akademie der Wiss. und Künste
1994	Mitglied der Akad. gemeinnütziger Wiss. zu Erfurt
1996	o. Mitglied der Phil-Hist. Kl. der Ak. der Wiss. zu Göttingen
seit 1996	Fachgutachter für Slav. der DFG
2000	Mitglied der Südosteuropa-Kommission der Göttinger Ak. der Wiss.
2010	Dr. h. c. des Vinogradov-Inst. der russ. Sprache an der Russ. Ak. der Wiss. zu Moskau

Zahlreiche wiss. Publ.

Zum ordentlichen Mitglied wurden am 09.12.2011 gewählt:

#### **in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften**

**Schwalb**, Antje, Prof. Dr. ès sc., Dipl.-Geologin, Inst. f. Umweltgeologie, TU Braunschweig, Langer Kamp 19

1964, 11.02.	geb. in Dannenberg/Elbe
1983	Abitur in Lüchow
1983–1987	Studium der Geologie-Paläontologie an der Univ. Göttingen, Diplom
1987	Geologin am Niedersächs. Landesmuseum
1988–1992	Doktorandin des Schweizerischen Nationalfonds am Inst. de Géol. de l'Univ. de Neuchâtel, Schweiz, Dr. ès sc. 1992
1992	Ass. am Geogr. Inst. der Univ. Bern
1993–1996	Research Associate am LRC, Univ. of Minnesota, USA
1996/97	Wiss. Mitarb. am IMGP
1997/98	Habilitandin (Stipendium der DFG) am Inst. und Museum für Geologie und Paläontologie, IMGP, Univ. Göttingen
1998–2001	Wiss. Mitarb. am GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ)
1999 und 2000	Vis. Scientist am U.S. Geological Survey, Denver, und am Limnological Research Center (LRC), Univ. of Minnesota, USA



2001–2002      Wiss. Mitarb. am Inst. f. Umweltgeochemie, Univ. Heidelberg  
 seit 2002      Univ.-Prof. für Allg. Geologie/Geosysteme, TU Braunschweig  
 seit 2008      Vorstandsmitglied German Earth Probing Consortium, GESEP  
 seit 2009      Mitglied des Senats der DFG  
 seit 2010      Mitglied des wiss. Beirats des GeoBio-Centers, LMU München

Zahlreiche wiss. Publ.

### in der Klasse für Ingenieurwissenschaften

**Magnor, Marcus Andreas**, Prof. Dr.-Ing., Inst. f. Computergraphik, TU Braunschweig, Mühlenpfordtstr. 23

1972, 22.09.      geb. in Georgsmarienhütte  
 1989/90          Hudson High School, Michigan, USA, School Diploma  
 1992              Abitur in Osnabrück  
 1992/93          Wehrdienst  
 1993–96          Diplomstudiengang Physik an der Univ. Würzburg, Dt. Studienstiftung  
 1996/97          DAAD IAS Stipendium an der Univ. New Mexico, USA  
 1997              Master of Science Physics  
 1998–2000      Doktorand an der Univ. Erlangen  
 2000              Prom. zum Dr.-Ing. (Elektrotechnik), Dissertationspreis der FAU Erlangen-Nürnberg  
 2001/02          Feodor Lynen- Stipendium an der Stanford Univ., USA  
 2002–2005      Unabh. Nachwuchsgruppenleiter in der Max-Planck-Ges., Saarbrücken  
 2005              Hab. im Fach Informatik an der Univ. des Saarlands  
 seit 2006      o. Univ.-Prof. an der TU Braunschweig, Leiter des Instituts für Computergraphik  
 seit 2009      Adj. Prof. am Dept. Physics + Astronomy, UNM, USA  
 2009              Fulbright Scholar  
 2010              ERC Starting Grant Award

Zahlreiche wiss. Publ.

**Turek, Thomas**, Prof. Dr.-Ing., Inst. f. Chemische Verfahrenstechnik, TU Clausthal, Leibnizstr. 17

1961, 03.02.      geb. in Herten  
 1980              Abitur in Herten  
 1980–82          Studium Chemietechnik an der Univ. Dortmund  
 1982–86          Studium Chemieingenieurwesen an der Univ. Karlsruhe (Diplom)  
 1987–1992      Wiss. Mitarb. am Inst. f. Chem. Verfahrenstechnik an der Univ. Karlsruhe

1992	Prom. zum Dr.-Ing. an der Univ. Karlsruhe
1992/93	Post-Doc an der Univ. of New South Wales, Sydney, Australien
1994–99	Wiss. Ass. am Inst. f. Chem. Verfahrenstechnik der Univ. Karlsruhe
2004–2004	Industrietätigkeit in der Bayer Technology Serv. GmbH, Leverkusen
2000	Hab. an der Univ. Karlsruhe
seit 2004	Prof. f. Chem. Verfahrenstechnik an der TU Clausthal

## Auszeichnungen:

1991	1. Preis f. Umweltforsch., Univ. Karlsruhe
1992/93	Feodor-Lynen-Stip., Alexander von Humboldt-Stiftung
1997	Hochschullehrer-Nachwuchspreis Techn. Chemie, DECHEMA
2000	Arnoldt-Eucken-Preis, GVC

Zahlreiche wiss. Publ.

Zum korrespondierenden Mitglied wurde am 09.12.2011 gewählt:

**in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften**

**Friederici, Angela**, Prof. Dr. phil., Direktorin des Max-Planck-Inst. für Kognition- und Neurowiss., Stephanstr. 1 A, 04103 Leipzig

Lebenslauf siehe „Urkunde und Lebenslauf“ der diesjährigen Preisträgerin der Carl-Friedrich Gauss Medaille.

### Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949-2011

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr. phil., Dr. phil. nat. h.c., Dr.-Ing. E.h., Honorarprofessor der Universität Mainz und der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil. dr., Dr. phil. h.c., Dr.-Eng. h.c., Dr. Techn. h.c., em.o. Professor für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg/Schweden.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing. E.h., em. o. Professor für Theoretische Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller* †, Dr.-Ing. habil., Dr. rer. nat. h.c., Dr. h.c., Evan-Pugh Res., Professor an der Pennsylvania State University, University Park, Penn./USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing.E.h., Professor in Münster.
- 1954 *Max Strutt* †, Dr.techn., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Höhere Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich/Schweiz.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Dr.h.c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr.phil., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N.Y./USA.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann* †, Dr.sc.nat.habil., Dr.rer.nat.h.c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Karman* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., Dr.rer.nat.h.c.mult., LL.D., Professor am California Institute of Technology, Pasadena, Calif./USA.
- 1961 *Kurt Paul Klöppel* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.

- 1962 *Walter Schottky* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., Dr.rer.nat.h.c., Dr.techn.h.c., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe* †, Dr.phil., Dr.h.c., Dr.rer.nat.h.c.mult., em. o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.
- 1964 *Carl Wagner* †, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Dr.-Ing.E.h., Professor und vormals Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.
- 1965 *Albert Betz* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., Dr.sc.techn.h.c., Professor und vormals Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.
- 1966 *Wilhelm Becker* †, Dr.phil., Dr.h.c., em. o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel/Schweiz.
- 1967 *Henry Görtler* †, Dr.phil.habil., LL.D.h.c., em. o. Professor für Mathematik und vormals Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Universität Freiburg i. Br..
- 1968 *Egon Orowan* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass./USA.
- 1969 *E. Arne Bjerhammer* †, tekn. dr., Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Högskolan in Stockholm/Schweden.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr.rer.nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik am Polytechnischen Institut Bukarest und vormals Direktor des Institut de Mécanique des Fluides „Traian Vuia“ in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger* †, Dr.rer.techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen und vormals Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz.
- 1972 *Hubert Rüsch* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und vormals Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann* †, Dr.techn., Ph.D., Sc.D., Dr.rer.nat.h.c., Dr.Sc.h.c., em. o. Professor für Anorganische Chemie an der Technischen Universität Wien/Österreich.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dr.h.c., Professor, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i.R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill* †, FRS, FRAeS, Hon.D.Sc.mult., Professor für Mathematik an der University of Cambridge/Großbritannien.

- 1977 *Walter Maurice Elsasser* †, Dr.phil., o. Professor für Geophysik an der Johns Hopkins University, Baltimor, Maryland/USA.
- 1977 *Helmut Moritz*, Dr.techn., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Geodäsie an der Technischen Universität Graz/Österreich.
- 1977 *László Fejes Tóth* †, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest/Ungarn.
- 1978 *Ulrich Grigull* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Thermodynamik an der Technischen Universität München.
- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt* †, Dr.phil., em. o. Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen.
- 1980 *Hans Kuhn*, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Professor und vormalig Direktor am Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen.
- 1981 *Martin Kneser* †, Dr.rer.nat., o. Professor für Mathematik an der Universität Göttingen.
- 1982 *Walter Burkert*, Dr.phil., o. Professor für Klassische Philologie an der Universität Zürich/Schweiz.
- 1983 *Leopold Müller* †, Dr.techn., Dr.mont.h.c., Honorarprofessor für Felsmechanik an der Universität Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking* †, Dr.rer.nat., o. Professor und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik an der RWTH, Aachen.
- 1985 *Gerhard Ertl*, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Professor und Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin.
- 1986 *Arno Borst* †, Dr.phil., o. Professor für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Konstanz.
- 1987 *Olgierd Cecil Zienkiewicz* †, FRS, Ph.D., D.Sc., Hon.D.Sc.mult., Professor of Civil Engineering an der University of Wales/Swansea/Großbritannien.
- 1988 *Heinz Brauer* †, Dr.-Ing., Professor für Chemische Ingenieurtechnik an der Technischen Universität Berlin.
- 1989 *Herbert Walther*, Dr.rer.nat., Professor für Experimentalphysik an der Universität München und Direktor des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching.
- 1990 *Raymond Klibansky* †, Dr.phil., Dr.phil.h.c., Professor der Philosophie (Logik und Metaphysik) an der McGill University in Montreal/Kanada und Fellow des Wolfson College Oxford.

- 1991 *Wilfried B. Krätzig*, Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h., Professor für Ingenieurmechanik an der Ruhr-Universität Bochum.
- 1992 *Ernst-Dieter Gilles*, Dr.-Ing., Professor für Meß- und Regelungstechnik an der Universität Stuttgart.
- 1993 *Hans-Heinrich Voigt*, Dr.rer.nat., em. o. Professor für Astronomie und Astrophysik an der Universität Göttingen.
- 1994 *Josef Fleckenstein* †, Dr.phil., em. o. Professor für Mittelalterliche Geschichte, zuvor Direktor des Max-Planck-Instituts für Geschichte in Göttingen.
- 1995 *David G. Crighton* †, FRS, Head of Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge/Großbritannien.
- 1996 *Gerhard Frey*, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Professor für Mathematik an der Universität Essen.
- 1997 *Arnold Esch*, Dr.phil., Professor für Mittelalterliche Geschichte, Direktor des Deutschen Historischen Instituts in Rom/Italien.
- 1998 *Christian Menn*, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. Professor für Konstruktiven Ingenieurbau an der ETH Zürich/Schweiz.
- 1999 *Christian Wandrey*, Dr.rer.nat., Professor für Biotechnologie, Universität Bonn, Direktor des Instituts für Biotechnologie des Forschungszentrums Jülich.
- 2000 *Klaus J. Hopt*, Dr.jur. Dr.phil. Dres.h.c., Professor für ausländisches und internationales Privatrecht, Universität Hamburg, Direktor des Max-Planck-Instituts für ausländisches und internationales Privatrecht, Hamburg.
- 2001 *Robert Piloty*, Dr.-Ing., Professor em. für Datentechnik an der Technischen Universität Darmstadt.
- 2002 *Wolfgang Krätschmer*, Dr.rer.nat., Professor für Kern- und Astrophysik am Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg.
- 2003 *Niklot Klüßendorf*, Dr.phil., apl. Professor für Numismatik und Geldgeschichte an der Philipps Universität, Marburg.
- 2004 *Joachim Milberg*, Dr.-Ing. Dr.h.c.mult. Dr.-Ing. E.h.mult., Professor für Maschinenbau und Produktionswissenschaften, München.
- 2005 *Klaus von Klitzing*, Dr.rer.nat. Dr.h.c.mult., Professor für Festkörperphysik, Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, Honorarprofessor an der Universität Stuttgart.

- 2006 *Peter Bürger*, Dr.phil.habil., Professor em. für Literaturwissenschaft (Französisch) und Ästhetische Theorie an der Universität Bremen.
- 2007 *Herbert A. Mang*, Dipl.-Ing. Dr.techn. Ph.D. Dr.h.c.mult., Ordentlicher Universitäts-Professor für Elastizitäts- und Festigkeitslehre an der Technischen Universität Wien.
- 2008 *Rudolf K. Thauer*, Dr.rer.nat.habil. Dr.h.c.mult., Professor für Mikrobiologie, Direktor des Max Planck Instituts für terrestrische Mikrobiologie, Marburg.
- 2009 *Walther Ludwig*, Dr.phil., Professor em. für Klassische Philologie an der Universität Hamburg.
- 2010 *Klaus Streubel*, Dr.rer.nat., LED-Technologie, Leiter Forschung und Technologie der Osram GmbH, Augsburg.
- 2011 *Angela D. Friederici*, Dr.phil. Dr.h.c., Professorin für Neuropsychologie und Direktorin des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig.

## Mitgliederverzeichnis (Stand: 31.12.2011)

### Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Fallersleber-Tor-Wall 16, 38100 Braunschweig  
 Telefon: (0531) 1 44 66 Fax: (0531) 14460  
 E-Mail: [info@bwg.niedersachsen.de](mailto:info@bwg.niedersachsen.de)  
 Homepage: <http://www.bwg-nds.de>

*Präsident:* Prof. Dr.rer.nat. Dr.h.c. Joachim Klein  
 (bis 31.12.2013)

*Vizepräsidenten:* Prof. Dr.med. Klaus P.G. Gahl  
 (bis 31.12.2011)  
 Prof. Dr.med. Dr.phil. Claus-Artur Scheier  
 (bis 31.12.2012)

### Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

*Vorsitzender:* Prof. Dr.rer.nat. Thomas Hartmann (bis 31.12.2012)

#### *Ordentliche Mitglieder:*

Bahadir, Müfit (13.11.1947), Dr.rer.nat. Dr.agr.habil. Dr.h.c., Prof. (Ökologische Chemie und Abfallanalytik, TU Braunschweig), Lützenstraße 6, 38124 Braunschweig

Balling, Rudi (17.10.1953), Dr.troph., Prof. u. Direktor (Infektionsbiologie, Säugetiergenetik, Luxembourg Centre for Systems Biomedicine, Université du Luxembourg), Siekgraben 32, 38124 Braunschweig

Behrens, Peter (29.6.1957), Dr.rer.nat., Prof. (Anorganische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Danziger Ring 5, 30900 Wedemark-Mellendorf

Blöchl, Peter (24.6.1959), Dr.rer.nat., Prof. (Theoretische Physik, TU Clausthal), Dr.-Nieper-Straße 13, 38640 Goslar

Brandes, Dietmar (12.3.1948), Dr.rer.nat.habil., Prof. u. Dir. (Botanik, Universitätsbibliothek, TU Braunschweig), Allerstraße 6, 38106 Braunschweig

Ehrich, Hans-Dieter (2.2.1943), Dr.rer.nat., Prof.em. (Informatik, TU Braunschweig), Mannheimstraße 66, 38112 Braunschweig



- Ertmer, Wolfgang (13.2.1949), Dr.rer.nat., Prof. (Experimentalphysik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Granatstraße 24, 30823 Garbsen
- Gericke, Karl-Heinz (3.6.1951), Dr.phil.nat., Prof. (Physikalische Chemie, TU Braunschweig), Mühlenweg 12, 38122 Braunschweig
- Glaßmeier, Karl-Heinz (28.4.1954), Dr.rer.nat., Prof. (Geophysik, TU Braunschweig), Sauerbruchstraße 17, 38116 Braunschweig
- Göbel, Ernst Otto (24.3.1946), Dr.rer.nat., Prof. u. Präs. (Experimentalphysik, PTB Braunschweig), Oscar-Fehr-Weg 16, 38116 Braunschweig
- Harborth, Heiko (11.2.1938), Dr.rer.nat., Prof. a. D. (Mathematik, TU Braunschweig), Bienroder Weg 47, 38106 Braunschweig
- Hartmann, Thomas (2.2.1937), Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig), Walter-Hans-Schultze-Straße 21, 38116 Braunschweig
- Haux, Reinhold (22.05.1953), Dr.rer.biol.hum. (Medizinische Informatik, TU Braunschweig und MHH), Am Forst 31, 38302 Wolfenbüttel
- Henzler, Martin (18.5.1935), Dr.rer.nat., Prof. (Festkörperphysik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Finkenweg 6, 38826 Garbsen OT Schloss Ricklingen
- Hopf, Henning (13.12.1940), Dr.phil. Dr.h.c., Prof. (Organische Chemie, TU Braunschweig), Steinbrecherstraße 9, 38106 Braunschweig
- Hövermann, Jürgen (15.3.1922), Dr.rer.nat., Prof.em. (Geographie, Georg-August-Universität Göttingen), Nelkenweg 10, 37154 Northeim
- Hulek, Klaus (19.8.1952), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Peiner Weg 17, 31303 Burgdorf
- Jahn, Dieter (1.8.1959), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Mikrobiologie, TU Braunschweig), In den Schönen Morgen 14, 38300 Wolfenbüttel
- Jockusch, Brigitte M. (27.9.1939), Dr.rer.nat., Prof. (Zoologie, TU Braunschweig), Wendenstraße 28/29, 38100 Braunschweig
- Kanold, Hans-Joachim (29.7.1914), Dr.rer.nat.habil., Prof.em. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Hohen Tore 4 A, Augustinum, 38118 Braunschweig
- Kaufmann, Dieter Eckart (18.11.1948), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Organische Chemie, TU Clausthal), Oberer Triftweg 22, 38640 Goslar
- Klein, Joachim (20.8.1935), Dr.rer.nat. Dr.h.c., Prof. (Makromolekulare Chemie, TU Braunschweig), Hühnerkamp 21, 38104 Braunschweig
- Litterst, Fred Jochen (9.12.1945), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Experimentalphysik, TU Braunschweig), Nordendorfweg 4 a, 38110 Braunschweig

- Maaß, Günter (7.1.1934), Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Biophysikalische Chemie, GBF Braunschweig), Im Eichholz 27, 30657 Hannover
- Meijere, Armin de (18.5.1939), Dr.rer.nat., Prof. (Chemie, Georg-August-Universität Göttingen), Brombeerweg 13, 37077 Göttingen
- Mendel, Ralf-Rainer (20.3.1952), Dr.rer.nat.habil. Dr.sc.nat., Prof. (Botanik, TU Braunschweig), Wiesengrund 3, 38542 Leiferde
- Müller, Georg (1.10.1930), Dr.rer.nat., Dr.rer.nat.h.c., Prof.em. (Mineralogie und Petrographie, TU Clausthal), Einersberger Blick 27, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Müller-Goymann, Christel Charlotte (5.12.1951), Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Technologie, TU Braunschweig), Am Rübenberg 16, 38104 Braunschweig
- Pott, Richard (8.7.1951), Dr.rer.nat., Prof. (Geobotanik, Landschaftsökologie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Waldersee Straße 19, 30177 Hannover
- Richter, Egon (24.3.1928), Dr.rer.nat., Prof.em. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Sommerlust 33, 38118 Braunschweig
- Richter, Otto (3.8.1946), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Agrarökologie, TU Braunschweig), Kreuzwinkel 22, 38527 Meine-Abbesbüttel
- Rieger, Georg Johann (16.8.1931), Dr.rer.nat., Prof. (Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Rosenstraße 2, 31311 Uetze
- Schätzl, Ludwig (17.1.1938), Dr.oec.publ., Prof. (Wirtschaftsgeographie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Im Eichholz 49, 30657 Hannover
- Schaumann, Ernst (16.9.1943), Dr.rer.nat., Prof. (Organische Chemie, TU Clausthal), An der Trift 4 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Scheper, Thomas (29.3.1956), Dr.rer.nat., Prof. (Technische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Lange-Hop Straße 47 B, 30559 Hannover
- Schmidt, Gudrun (11.3.1943), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Technische Chemie, Technische Universität Clausthal), Kastanienweg 49, 01156 Dresden
- Schomburg, Dietmar (21.4.1950), Dr.rer.nat., Prof. (Chemie, Biochemie, Bioinformatik, TU Braunschweig), Bohnenkamp 26 b, 38108 Braunschweig
- Schügerl, Karl (22.6.1927), Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof.em. (Technische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Arnumer Kirchstraße 31, 30966 Hemmingen
- Schwalb, Antje (11.02.1964), Dr. ès sc., Prof. (Geologie/Geosysteme, TU Braunschweig), Ernst-Amme-Straße 2, 38114 Braunschweig

- Schwink, Christoph (20.3.1928), Dr.rer.nat., Prof.em. (Physik, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 21, 38106 Braunschweig
- Sonar, Thomas (27.2.1958), Dr.rer.nat. Dipl.-Ing., Prof. (Technomathematik, TU Braunschweig), Hildebrandstraße 35, 38112 Braunschweig
- Stephan, Ernst-Peter (18.5.1947), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Veilchenstraße 5, 30900 Wedemark
- Vollmar, Roland (1.11.1939), Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h., Prof.em. (Informatik, Universität Karlsruhe), Wendtstraße 10, 76185 Karlsruhe
- Weinert, Hanns Joachim (26.1.1927), Dr.phil. et rer.nat.habil., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückaufweg 6, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Welling, Herbert (1.9.1929), Dr.rer.nat., Prof. (Physik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Nogatweg 13, 30916 Isernhagen
- Werner, Reinhard F. (26.3.1954), Dr.rer.nat., Prof. (Theoretische Physik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Gerhart-Hauptmann-Straße 1, 38304 Wolfenbüttel
- Willerding, Ulrich (8.7.1932), Dr.rer.nat., apl. Prof. (Botanik, Georg-August-Universität Göttingen), Calsowstraße 60, 37085 Göttingen
- Winterfeldt, Ekkehard (13.5.1932), Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof. (Organische Chemie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Sieversdamm 34, 30916 Isernhagen
- Wirths, Karl-Joachim (24.5.1944), Dr.rer.nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig), Im Unterdorf 14 a, 38527 Meine-Abbesbüttel

*Korrespondierende Mitglieder:*

- Bürger, Hans, Dr.rer.nat., Prof. (Anorganische Chemie, Bergische Universität Wuppertal), Kruppstraße 230, 42113 Wuppertal
- Ertl, Gerhard, Dr.rer.nat., Dr.h.c.mult., Prof. u. Dir. (Physikalische Chemie, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft), Garystraße 18, 14195 Berlin
- Friederici, Angela D., Dr.phil., Prof. und Direktorin (Neuropsychologie, Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig), Stephanstraße 1 A, 04103 Leipzig
- Görlitzer, Klaus, Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Lennéstraße 12 A, 14471 Potsdam
- Haken, Hermann, Dr.rer.nat., Dr.h.c.mult., Prof. (Theoretische Physik, Universität Stuttgart), Sandgrubenstraße 1, 71063 Sindelfingen

- Keßler, Franz Rudolf, Dr.phil., Prof.em. (Physik, TU Braunschweig), Am Krausberg 12, 52351 Düren
- Kippenhahn, Rudolf, Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Astrophysik, MPI für Physik und Astrophysik), Rautenbreite 2, 37077 Göttingen
- Krätschmer, Wolfgang, Dr.rer.nat., Honorarprofessor (Kernphysik, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg und Universität Heidelberg), Pfarrgasse 17 a, 69251 Gaiberg
- Kuhn, Hans, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c.mult., Prof. u. Dir. i. R. (Biophysikalische Chemie, MPI Göttingen), Chemin de Margoison 15, 1872 Troistorrents/Schweiz
- Meschede, Dieter, Dr.rer.nat., Prof. (Angewandte Physik, Universität Bonn), Wegeler Straße 8, 53115 Bonn
- Schaller, Friedrich, Dr.rer.nat., Prof. (Zoologie, Universität Wien), Regenweg 1/14/3, 1170 Wien/Österreich
- Schwab, Klaus, Dr.rer.nat., Prof. (Geologie und Paläontologie, TU Clausthal), Berliner Straße 119, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Scriba, Christoph J., Dr.rer.nat., Prof. (Geschichte der Naturwissenschaften, Universität Hamburg), Langenfelder Damm 61, Whg.64, 22525 Hamburg
- Tietz, Horst, Dr.phil., Prof.em. (Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Eilenriede-Stift, Haus B 412, Bevenserweg 10, 30625 Hannover
- Voigt, Hans-Heinrich, Dr.rer.nat., Prof.em. (Astronomie und Astrophysik, Universität Göttingen), Charlottenburger Straße 19, 37085 Göttingen
- Voronkov, Michael Gregor, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof. u. Dir. (Chemie, A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry), 1 Favorsky Street, /GUS
- Wandrey, Christian, Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. a. D.(Biotechnologie, Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut 2), Wolfshovener Straße 139, 52428 Jülich

### **Klasse für Ingenieurwissenschaften**

*Vorsitzender:* Prof. Dr.-Ing. Udo Peil (bis 31.12.2011)

*Ordentliche Mitglieder:*

Barke, Erich (28.12.1946), Dr.-Ing.habil, Prof. und Präsident (Mikroelektronische Systeme, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Callinstraße 48, 30167 Hannover

- Beck, Hans-Peter (27.11.1947), Dr.-Ing., Prof. (Grundlagen der Elektrotechnik und Elektrische Energietechnik, TU Clausthal), Obere Trift 14, 38640 Goslar
- Bohnet, Matthias (20.7.1933), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrens- und Kerntechnik, TU Braunschweig), Otto-Hahn-Straße 45, 38116 Braunschweig
- Budelmann, Harald (6.5.1952), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffkunde und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Schneekoppeweg 1, 38302 Wolfenbüttel
- Büttgenbach, Stephanus (25.1.1945), Dr.rer.nat., Prof. (Mikrotechnik, TU Braunschweig), Dr.-Bockemüller-Ring 33, 38173 Sickinge
- Canders, Wolf-Rüdiger (23.1.1947), Dr.-Ing., Prof. (Elektrotechnik, TU Braunschweig), Fuchshaller Weg 38, 37520 Osterode
- Carlowitz, Otto (24.6.1949), Dr.-Ing., Prof. u. Geschäftsführer (Umweltwissenschaften, CUTEC-Institut GmbH), Am Dammgraben 1, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Denkena, Berend (5.11.1959), Dr.-Ing., Prof. (Fertigungstechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Hermann-Sievers-Weg 2, 30900 Wedemark
- Dinkler, Dieter (25.10.1951), Dr.-Ing.habil., Prof. (Statik und Dynamik von Tragwerken, Numerische Mechanik, TU Braunschweig), Ulenflucht 17, 38226 Salzgitter
- Duddeck, Heinz (14.5.1928), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Statik, TU Braunschweig), Greifswaldstraße 38, 38124 Braunschweig
- Ernst, Rolf (23.8.1955), Dr.-Ing., Prof. (Datentechnik und Kommunikationsnetze, TU Braunschweig), Ellernbruch 12 b, 38112 Braunschweig
- Gockenbach, Ernst (25.11.1946), Dr.-Ing., Prof. (Hochspannungstechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Steinwedeler Kirchweg 17, 31303 Burgwedel
- Haeßner, Frank (6.1.1927), Dr.rer.nat., Prof.em. (Werkstoffkunde und Herstellungsverfahren, TU Braunschweig), Julius-Leber-Straße 46, 38116 Braunschweig
- Heipke, Christian (5.4.1961), Dr.-Ing.habil., Prof. (Photogrammetrie und Fernerkundung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Sudetenstraße 16, 30559 Hannover
- Herrenberger, Justus (27.5.1920), Dr.-Ing., Prof.em. (Baukonstruktionen, TU Braunschweig), Ginsterweg 22, 38126 Braunschweig
- Hesselbach, Jürgen (2.11.1949), Dr.-Ing. Dr.h.c., Prof. und Präsident (Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, TU Braunschweig), Wendessener Straße 4, 38300 Wolfenbüttel

- Jeschar, Rudolf (17.6.1930), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Energieverfahrenstechnik, TU Clausthal), Bäringer Straße 30, 38640 Goslar
- Kind, Dieter (5.10.1929), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Honorarprof. u. Präsi. i.R. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig und PTB Braunschweig), Knappstraße 4, 38116 Braunschweig
- Konecny, Gottfried (17.6.1930), Dr.-Ing., Dr.h.c.mult., Prof. (Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Wartheweg 22, 30559 Hannover
- Kowalsky, Wolfgang (23.3.1958), Dr.-Ing.habil., Prof. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Dorothea-Erxleben-Straße 41 b, 38116 Braunschweig
- Kraczyk, Manfred (24.2.1965), Dr.-Ing.habil., Prof. (Bauinformatik, Strömungssimulation, TU Braunschweig), Krummenried 7, 38179 Rothemühle
- Kutterer, Hansjörg (25.07.1965), Dr.-Ing.habil., Prof. und Präsident (Geodäsie, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/Main), Seerosenstraße 9a, 30916 Isernhagen
- Lautz, Günter (15.11.1923), Dr.rer.nat., Prof.em. (Elektrophysik, TU Braunschweig), Fallsteinweg 97, 38302 Wolfenbüttel
- Leilich, Hans-Otto (28.11.1925), Dr.-Ing., Prof.em. (Datenverarbeitungsanlagen, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 61 a, 38302 Wolfenbüttel
- Leonhard, Werner (25.5.1926), Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof.em. (Regelungstechnik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 54, 38302 Wolfenbüttel
- Lindmayer, Manfred (4.10.1941), Dr.-Ing., Prof. (Elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig), Am Papenholz 15, 38104 Braunschweig
- Magnor, Markus (22.09.1972), Dr.-Ing., Prof. (Informatik, Computergraphik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 45, 38302 Wolfenbüttel
- Mahrenholtz, Oskar (17.5.1931), Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h.mult. Dr.h.c., Prof.em. (Mechanik, TU Hamburg-Harburg), Mümmelmannweg 16, 21220 Seevetal
- Marx, Claus (21.8.1931), Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof. (Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung, TU Clausthal), Zur Kohlerbreite 4, 88696 Owingen
- Matthies, Hans Jürgen (6.11.1921), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Landmaschinen, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 15, 38116 Braunschweig
- Merker, Günter Peter (9.4.1942), Dr.-Ing.habil., Prof. (Technische Verbrennung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Schöneckstraße 30, 88069 Tettnang
- Mitschke, Manfred (5.5.1929), Dr.-Ing., Prof. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Buchfinkweg 1, 38112 Braunschweig

- Möller, Dietrich (18.12.1927), Dr.-Ing., Prof.em. (Vermessungskunde, TU Braunschweig), Ziegelwiese 2, 38104 Braunschweig
- Müller, Jürgen, (13.3.1962), Dr.-Ing.habil., Prof. (Physikalische Geodäsie, Satellitengeodäsie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Im Eschbruch 8, 30952 Ronnenberg
- Müller-Schloer, Christian (02.03.1950), Dr.-Ing., Prof. (Informatik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Matthias-Claudius-Straße 16, 30989 Gehrden
- Musmann, Hans-Georg (14.8.1935), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Heckenrosenweg 24, 38259 Salzgitter
- Peil, Udo (20.4.1944), Dr.-Ing., Prof. (Stahlbau, TU Braunschweig), Försterkamp 9, 38302 Wolfenbüttel
- Radespiel, Rolf, (16.2.1957) Dr.-Ing., Prof. (Strömungsmechanik, TU Braunschweig), Wilhelmshöhe 11, 38108 Braunschweig
- Reimers, Ulrich (23.3.1952), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Kollwitzstraße 28, 38159 Vechelde
- Rosenwinkel, Karl-Heinz (8.3.1950), Dr.-Ing., Prof. (Siedlungswasserwirtschaft, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Wachendorfer Hain 11, 30539 Hannover
- Rostásy, Ferdinand Stefan (4.5.1932), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Baustoffe und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Nietzschestraße 26, 38126 Braunschweig
- Rothert, Heinrich (5.12.1938), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Statik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Feldbrunnenstraße 15, 20148 Hamburg
- Scheer, Joachim (5.3.1927), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Stahlbau, TU Braunschweig), Wartheweg 20, 30559 Hannover
- Schnieder, Eckehard (7.2.1949), Dr.-Ing. Dr.h.c.mult., Prof. (Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, TU Braunschweig), Friedrich-Knoll-Straße 3, 38104 Braunschweig
- Schönfelder, Helmut (3.4.1926), Dr.-Ing., Prof.em. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Fürstenhofweg 1 A, 38667 Bad Harzburg
- Schulitz, Helmut C. (17.7.1936), Dipl.-Ing., M.Arch., Arch.BDA, Hon.FAIA, Prof. (Architektur, TU Braunschweig), Am Dahlumer Holze 27, 38126 Braunschweig
- Schwedes, Jörg (26.2.1938), Dr.-Ing., Prof.em. (Verfahrenstechnik, TU Braunschweig), Magnitorwall 5, 38100 Braunschweig

- Schwerdtfeger, Klaus (16.9.1934), Dr.-Ing., Prof. (Allgemeine Metallurgie, TU Clausthal), Zeppelinstraße 28, 38640 Goslar
- Sester, Monika (19.9.1961), Dr.-Ing.habil., Prof. (Kartographie und Geoinformatik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Groß-Buchholzer Kirchweg 17, 30655 Hannover
- Siefer, Thomas Bernhard (5.3.1955), Dr.-Ing., Prof. (Eisenbahnbetriebswissenschaft, Verkehrsökonomie, TU Braunschweig), Süßeroder Straße 10, 3055 Hannover
- Stein, Erwin (5.7.1931), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Dr.h.c.mult., Prof.em. (Baumechanik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Am Ortfelde 124, 30916 Isernhagen
- Thoma, Manfred (24.2.1929), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Dr.h.c.mult., Prof. (Regelungstechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Westermannweg 7, 30419 Hannover
- Tönshoff, Hans Kurt (14.5.1934), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h.mult. Dr.h.c., Prof. (Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Bruchholzwiesen 10, 30938 Burgwedel
- Turek, Thomas (03.02.1961), Dr.-Ing., Prof. (Chemische Verfahrenstechnik, TU Clausthal), Frankenberger Plan 10, 38640 Goslar
- Unger, Hans-Georg (14.9.1926), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h.mult, Dr.rer.nat.h.c., Prof.em. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 10, 38116 Braunschweig
- Waag, Andreas (6.4.1961), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Halbleitertechnik, TU Braunschweig), Rosenstraße 27, 38106 Braunschweig
- Weh, Herbert (1.3.1928), Dr.-Ing., Dr.sc.techn.h.c., Prof. (Starkstromtechnik, TU Braunschweig), Kirchplatz 12, 87534 Oberstaufen
- Wilhelm, Karin (25.02.1947), Dr. , Prof. (Geschichte und Theorie der Architektur und Stadt, TU Braunschweig), Contessaweg 41, 14089 Berlin
- Wriggers, Peter (3.2.1951), Dr.-Ing., Prof. (Baumechanik und Numerische Mechanik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Bödekerstraße 8, 30161 Hannover
- Zabeltitz, Christian von (7.8.1932), Dr.-Ing., Prof. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Hellwiesen 3, 30900 Wedemark
- Zenner, Harald (8.7.1938), Dr.-Ing., Prof. (Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit, TU Clausthal), Narzissenhang 1, 01328 Dresden



Zielke, Werner (8.12.1937), Dr.-Ing., Prof. (Strömungsmechanik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Lönsweg 31, 30826 Garbsen

*Korrespondierende Mitglieder:*

Baehr, Hans-Dieter, Dr.-Ing., Dr.E.h., Prof. (Thermodynamik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Baumhofstraße 34, 44799 Bochum

Garbrecht, Günther, Dr.-Ing., Dr.sc.h.c., Prof.em. (Wasserbau, Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, TU Braunschweig), Drosselweg 15, 38179 Schwülper

Gersten, Klaus, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Thermo- und Fluidodynamik, Universität Bochum), Hofleite 15, 44795 Bochum

Gilles, Ernst Dieter, Dr.-Ing. Dr.h.c.mult., Direktor (Mess- und Regelungstechnik, MPI Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg), Bauernwaldstraße 131, 70195 Stuttgart

Kärner, Hermann Christian, Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof.em. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig), Ledererweg 7, 83684 Tegernsee

Kistenmacher, Hans, Dr.rer.pol., Prof. (Regional- und Landesplanung, Universität Kaiserslautern), Friedrich-Ebert-Straße 1, 67271 Neuleiningen

Kose, Volkmar, Dr.rer.nat., Honorarprof. (Präzisionsmeßtechnik, TU Braunschweig, PTB Braunschweig), Nernstweg 9, 38116 Braunschweig

Krätzig, Wilfried B., Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Statik und Dynamik/Bauingenieurwesen, Ruhr-Universität Bochum), Wagenfeldstraße 8 A, 58456 Witten

Kreuzer, Edwin, Dr.-Ing.habil. Prof. E. h., Prof. (Mechanik und Meerestechnik, TU Hamburg-Harburg), Gerlachstraße 12, 21075 Hamburg

Mang, Herbert A. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr..h.c.mult. Ph.D., ordentl. Univ.-Prof. (Strukturmechanik, TU Wien), Tolstojgasse 5/10, A-1130 Wien

Mayinger, Franz, Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik, TU München), Am Haselnußstrauch 18, 80935 München

Menn, Christian, Prof.em. Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h. (Konstruktiver Ingenieurbau, ETH Zürich), Plantaweg 21, 7000 Chur Schweiz

Milberg, Joachim, Dr.-Ing. Dr.h.c.mult. Dr.-Ing.E.h.mult., Prof. (Maschinenbau und Produktionswissenschaften, BMW AG), Petuelring 130, 80788 München

Moritz, Helmut, Dr.h.c.mult. Dr.techn., Prof. (Erdmessung und Physikalische Geodäsie, TU Graz), Maria-Troster-Straße 114, 8043 Graz/Österreich

Pierick, Klaus, Dr.-Ing., Prof. (Verkehr, Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig), Am Uhlenbusch 31, 38108 Braunschweig

Ramm, Ekkehard, Dr.-Ing.habil. Dr.-Ing. E.h. Dr.h.c., Prof. (Baustatik, Computer orientierte Strukturmechanik, Universität Stuttgart), Sperberweg 31, 71032 Böblingen

Reese, Stefanie, Dr.-Ing.habil., Prof. (Festkörpermechanik, RWTH Aachen), Henriettenweg 27, 44227 Dortmund

Schlitt, Herbert, Dr.phil.nat., Prof. (Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg), Egerlandstraße 5, 91058 Erlangen

Spengelin, Friedrich, Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Habichtshorststraße 12, 30655 Hannover

Stracke, Ferdinand, Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau und Regionalplanung, TU München), Nederlinger Straße 30 A, 80638 München

Torge, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. (Theoretische Geodäsie, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Mönchekamp 4 A, 30457 Hannover

Wiendahl, Hans-Peter, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Arbeitsmaschinen und Fabrikanlagen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Am Winkelberge 6, 30826 Garbsen

Zumpe, Günter, Dr.-Ing.habil., Dr.h.c., Prof. (Mechanik, TU Dresden), Knoopstraße 7, 01326 Dresden

### **Klasse für Geisteswissenschaften**

*Vorsitzender:* Prof. Dr.phil. Klaus Alpers (bis 31.12.2013)

#### *Ordentliche Mitglieder:*

Adam, Wolfgang (16.3.1949), Dr.phil., Prof. (Germanistik – Neuere Deutsche Literatur, Universität Osnabrück), Falkenring 6, 49134 Wallenhorst

Alpers, Klaus (27.9.1935), Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Hamburg), Kolberger Straße 12, 21339 Lüneburg

Behr, Hans-Joachim (18.1.1949), Dr.phil.habil. Dr.h.c., Prof. (Ältere deutsche Sprache und Literatur, TU Braunschweig), Steige 8, 38102 Braunschweig

Bei der Wieden, Brage (6.7.1963), Dr. phil. (Geschichte, Niedersächsisches Landesarchiv, Leiter des Staatsarchivs Wolfenbüttel), Röntgenweg 8, 38302 Wolfenbüttel

Boeder, Heribert (17.11.1928), Dr.phil., Prof. (Philosophie, Universität Osnabrück), Löns-weg 10, 49076 Osnabrück

- Borsche, Tilman (02.02.1947), Dr.phil., Prof. (Philosophie, Universität Hildesheim), Silberfundstraße 26, 31141 Hildesheim
- Breger, Herbert (10.10.1946), Dr.rer.nat.habil., apl. Prof. und Leiter (Geschichte und Philosophie der Mathematik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover und Leibniz-Archiv), Eichstraße 7, 30161 Hannover
- Conermann, Klaus (1.10.1941), Dr. phil., Prof.em. (Germanistik (Neuere deutsche Literatur), Sächsische Akademie der Wissenschaften „Fruchtbringende Gesellschaft“), Schlossplatz 18, 38304 Wolfenbüttel
- Cunz, Reiner (12.4.1958), Dr.phil., Oberkurator, Wissenschaft und Sammlungen, Münzkabinett (Numismatik, Niedersächsisches Landesmuseum Hannover), Albert-Niemann-Straße 7, 30171 Hannover
- Daniel, Ute (3.5.1953), Dr.phil, Prof. (Neuere Geschichte, TU Braunschweig), Wendenmaschstraße 7, 38100 Braunschweig
- Fritz, Wolfgang (12.7.1951), Dr.rer.pol.habil., Prof. (Betriebswirtschaftslehre, TU Braunschweig), Rebenstraße 89, 64646 Heppenheim
- Gahl, Klaus P. G. (14.6.1937), Dr.med., Prof. u. Chefarzt (Innere Medizin, Medizinische Klinik II am Städtischen Klinikum Braunschweig), Dürer-Straße 10, 38106 Braunschweig
- Ganzert, Joachim (3.1.1948), Dr.-Ing.habil., Prof. (Bau- und Stadtbaugeschichte, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Mendelssohnstraße 6, 30173 Hannover
- Henne, Helmut (5.4.1936), Dr.phil., Prof. (Germanistische Linguistik, TU Braunschweig), Platanenstraße 27, 38302 Wolfenbüttel
- Hentze, Joachim (23.6.1940), Dr.rer.pol.habil. Dr.h.c.mult., Prof. a.D. (Betriebswirtschaftslehre: Unternehmensführung, TU Braunschweig), Brachvogelweg 4, 30916 Isernhagen
- Kühne, LL.M., Gunther (25.8.1939), Dr.jur., Prof. (Berg- und Energierecht, TU Clausthal), Geheimrat-Ebert-Straße 14, 38640 Goslar
- Lehfeldt, Werner (22.05.1943), Dr.phil. Dr.h.c., Prof. (Slawistik, Universität Göttingen), Steinbreite 9 c, 37085 Göttingen
- Lohse, Eduard (19.2.1924), Dr.theol.D., Honorarprof. u. Landesbischof i.R. (Ev.-luth. Landeskirche Hannover), Ernst-Curtius-Weg 7, 37075 Göttingen
- Luchterhandt, Otto (01.08.1943), Dr.jur., Prof. (Jurisprudenz, Ostrecht, Universität Hamburg), Im Wendischen Dorfe 28, 21335 Lüneburg
- Märtl, Claudia (3.7.1954), Dr.phil.habil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Universität München), Preysingstraße 29, 81667 München

- Meckseper, Cord (29.10.1934), Dr.-Ing.habil., Prof. (Bau- und Kunstgeschichte, Universität Hannover), Eisenacher Weg 4, 30179 Hannover
- Menzel, Ulrich (21.7.1947), Dr. phil., Prof. (Politikwissenschaft, TU Braunschweig), Parkstraße 2 a, 38159 Vechelde
- Müller, Gerhard (10.5.1929), Dr.theol., D.D., Honorarprof. u. Landesbischof i.R. (Ev.-luth. Landeskirche Braunschweig), Sperlingstraße 59, 91056 Erlangen
- Peine, Franz-Joseph (18.8.1946), Dr.jur., Prof. (Öffentliches Recht, Europa-Universität Viadrina, Frankfurt/Oder), Kurpromenade 56, 14089 Berlin
- Pollmann, Klaus Erich (12.9.1940), Dr.phil., Prof. u. Rektor (Neuere Geschichte und Zeitgeschichte, Universität Magdeburg), August-Bebel-Straße 8, 39326 Samswegen
- Raabe, Paul (21.2.1927), Dr.phil.habil., Dr.h.c.mult., apl. Prof. u. Dir. i.R. (Deutsche Literaturwissenschaft, Georg-August-Universität Göttingen, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Roseggerweg 45, 38304 Wolfenbüttel
- Rengeling, Hans-Werner (25.2.1938), Dr.jur., Prof. (Umweltrecht, Universität Osnabrück), Langeworth 143, 48159 Münster
- Rötting M.A., Hartmut (11.8.1932), Honorarprof. (Denkmalpflege, Stadtarchäologie, TU Braunschweig), Lobmachersche Straße 18, 38312 Cramme
- Salje, Peter (9.2.1948), Dr.jur., Dr.rer.pol., Prof. (Rechtswissenschaften, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Heiligenfelder Straße 10 a, 27211 Bassum-Neubruchhausen
- Scheier, Claus-Artur (8.9.1942), Dr.med., Dr.phil.habil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Jasperallee 67, 38102 Braunschweig
- Schindel, Ulrich (10.9.1935), Dr.phil.habil., Prof. (Klassische Philologie, Georg-August-Universität Göttingen), Albert-Schweitzer-Straße 3, 37075 Göttingen
- Schmidt-Glintzer, Helwig (24.6.1948), Dr.phil.habil., Prof. u. Dir. (Sinologie, Allgemeine Kulturwissenschaft, Georg-August-Universität Göttingen, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Lessingplatz 1, 38300 Wolfenbüttel
- Stauf, Renate (23.3.1949), Dr.phil.habil., Prof. (Neuere deutsche Literatur, TU Braunschweig), Kasernenstraße 23, 38102 Braunschweig
- Thieme, Hartmut (20.11.1947), Dr.rer.nat., Leiter d. Archäol. Schwerpunktuntersuchungen im Helmstedter Braunkohlenrevier (Ur- und Frühgeschichte, Nieders. Landesamt f. Denkmalpflege Hannover), Schaumburger Weg 9, 31542 Bad Nenndorf
- Thieme, Werner (13.10.1923), Dr.jur., Prof.em. (Verwaltungslehre, Universität Hamburg), Berggartenstraße 14, 29223 Celle

- Thies, Harmen (26.12.1941), Dr.phil., Prof. (Baugeschichte, TU Braunschweig), Rodeweg 3, 38162 Cremlingen
- Vogtherr, Thomas (19.8.1955), Dr.phil., Prof. (Geschichte des Mittelalters, Universität Osnabrück, Lessingstraße 6, 49134 Wallenhorst
- Wahrig, Bettina (16.7.1956), Dr.med.habil., Prof. (Geschichte der Naturwissenschaften mit Schwerpunkt Pharmazie, TU Braunschweig), Ratsbleiche 11, 38114 Braunschweig
- Warncke, Carsten-Peter (21.6.1947), Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Georg-August-Universität Göttingen), Schöne Aussicht 59, 34346 Hann. Münden

*Korrespondierende Mitglieder:*

- Brett, Michael, Ph.D., Reader in the History of North Africa (Arabisch u. Arabische Geschichte mit besonderer Berücksichtigung Nordafrikas, School of Oriental and African Studies, London), 142 Turney Road, West Dulwich, London SE 21 7 JJ/Groß Britannien
- Bürger, Peter, Dr.phil., Prof. em. (Allgemeine Literaturwissenschaft, Romanistik, Universität Bremen), Markgrafenstraße 54, 13465 Berlin
- Burkert, Walter, Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Zürich), Wildsbergstraße 8, 8610 Uster/Schweiz
- Cohen-Mushlin, Aliza, Ph.D., Prof. und Dir. (Jüdische Kunst, Center for Jewish Art, The Hebrew University of Jerusalem), 19 Efrata St., Jerusalem 93384/Israel
- Ehlers, Joachim, Dr.phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, FU Berlin), Am Wieselbau 9, 14169 Berlin
- Elbern, Victor H., Dr.phil., Accademico dei Lincei, Honorarprof. (Kunstgeschichte, FU Berlin), Ilsesteinweg 42, 14129 Berlin
- Engel Holland, Eva Johanna, Dr.phil., Prof.em. (Germanistik und Romanistik, Wellesley College/USA und Forschungsauftrag DFG Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Lessingstraße 12, 38300 Wolfenbüttel
- Esch, Arnold, Dr.phil., Prof. u. Dir. i.R. (Mittelalterliche Geschichte, Deutsches Historisches Institut in Rom), Via della Lungara, 18, 00165 Roma/Italien
- Garrigues, Marie-Odile, Dr.phil., Prof. (Philosophie und Theologie, Centre Nationale de la Recherche Scientifique Paris), Frankreich
- Hopt, Klaus J., Dr.jur. Dr.phil. Dr.h.c.mult., Prof. u. Dir. (Ausländisches und Internationales Privatrecht, MPI für ausländisches und internationales Privatrecht, Hamburg), Isestraße 117, 20149 Hamburg

- Kloft, Hans, Dr.phil., Prof. (Alte Geschichte und Wirtschaftsgeschichte, Universität Bremen), Charlottenburger Straße 11, 28211 Bremen
- Klüßendorf, Niklot, Dr.phil., apl. Prof. (Numismatik und Geldgeschichte, Philipps-Universität Marburg), Koppelkaute 2, 35287 Amöneburg
- Lavrov, Sergej, Dr., Prof. (Ökonomische Geographie, Universität Sankt Petersburg), GUS
- Ludwig, Walther, Dr.phil., Prof.em. (Klassische Philologie, Universität Hamburg), Reventlowstraße 19, 22605 Hamburg
- Oexle, Otto G., Dr.phil., Prof. u. Dir. (Geschichte, MPI für Geschichte, Göttingen), Duisburger Straße 12, 10707 Berlin
- Peroni, Adriano, Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Florenz), Via Lungo L'Affrico 164, 50137 Florenz/Italien
- Poeschke, Joachim, Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Münster), Rudolf-von-Langen-Straße 26, 48147 Münster
- Rambaldi, Enrico, Dr.phil., Prof. (Universität Mailand)
- Rosen, Stanley, Dr.phil., Prof. (Philosophie, Pennsylvania State University), USA
- Schneidmüller, Bernd, Dr.phil.habil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg), Voßstraße 3, 69115 Heidelberg
- Schwarz, Brigide (19.1.1940), Dr.phil., Prof. i.R. (Mittelalterliche Geschichte, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Geibelstraße 2, 12205 Berlin
- Schwerdtfeger, Gunther, Dr.jur., Prof. (Öffentliches Recht und Recht der sozialen Sicherung, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover), Hülsebrinkstraße 23, 30974 Wennigsen (Deister)
- Seidensticker, Bernd, Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Freie Universität Berlin), Terrassenstraße 17 a, 14129 Berlin
- Szlezák, Thomas Alexander, Dr.phil., Prof. (Griechische Philosophie, Universität Tübingen), Ölspielstraße 35, 97286 Sommerhausen am Main
- Vollmer, Gerhard, Dr.rer.nat. Dr.phil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Prof.-Döllgast-Straße 14, 86633 Neuburg/Donau
- Voppel, Götz, -Dr.rer.pol., Prof. (Wirtschafts- und Sozialgeographie, Universität Köln), Neckarstraße 58, 51149 Köln